

V TOMTO SEŠITĚ

MACRO GROUP představuje
AMD 1

PŘEVODNÍKY D/A 8 b

Ideální převodník	3
Převodník D/A, jeho konstrukce a funkce	4
Nejdůležitější vlastnosti převodníků D/A	5
Vlastnosti a použití převodníků D/A	7
Převodníky řady MC1408, MC1508	7
Příklady použití MC1408	12
Převodníky D/A řady DAC-08 ..	15
Funkce a vlastnosti	15
Doporučená zapojení	18
Monolitické převodníky D/A 8 b nestandardních řad	26
Převodníky DAC90	26
Bipolární převodníky DAC336-8 ..	28
Hybridní převodník řady HS3020 ..	28
Převodníky řady 5018, 5118 ..	30
Převodníky řady DAC-UP8B ..	33
Převodníky řady NE5118 (5119), SE5118 (5119)	34
Zdroje přesného referenčního napětí	36
Přesný zdroj referenčního napětí řady REF-01	36
Inzerce	40

AMATÉRSKÉ RADIO ŘADA B

Vydavatel: Vydavatelství MAGNET-PRESS, s. p., 135 66 Praha 1, Vladislavova 26, tel. 26 06 51.
Redakce: 113 66 Praha 1, Jungmannova 24, tel. 26 06 51. Šéfredaktor L. Kalousek, OK1FAC, linka 354, sekretariát linka 355.

Tiskárna: Naše vojsko, tiskárna, závod 08, 160 05 Praha 6, Vlastina ulice č. 889/23.

Rozšiřuje Poštovní novinová služba a vydavatelství MAGNET-PRESS s. p., Objednávky přijímá každá administrace PNS, pošta, doručovatel a předplatitelská střediska a administrace vydavatelství MAGNET-PRESS s. p., 113 66 Praha 1, Vladislavova 26, tel. 26 06 51-9. Pololetní předplatné 29,40 Kčs. Objednávky do zahraničí vyřizuje ARTIA, a. s., Ve smečkách 30, 111 27 Praha 1.

Inzerce přijímá osobně i poštou vydavatelství MAGNET-PRESS, inzertní oddělení, Jungmannova 24, 113 66 Praha 1, tel. 26 06 51-9, linka 294 i redakce AR. Za původnost a správnost příspěvku odpovídá autor. Nevýžádané rukopisy nevracíme.

ISSN 0139-7087, číslo indexu 46 044.
Toto číslo má vyjít podle plánu 22. 1. 1993.

© Vydavatelství MAGNET-PRESS 1993



PŘEDSTAVUJE

ADVANCED MICRO DEVICES



Advanced Micro Devices je jednou z pěti největších firem v USA, vyrábějících integrované obvody. Cílem nabídky firmy jsou výrobci zařízení pro personální, výpočetní, komunikační a „síťovou“ činnost (pro komunikační a počítačové sítě). AMD se specializuje na mikroprocesory a jejich periferie, na paměti, programovatelné logické součástky a na obvody pro telekomunikace, kancelářskou automatizaci a „síťové“ aplikace. Výrobky společnosti jsou stavěny na pokrokových technologiích jak CMOS a NMOS, tak bipolárních.

O rozsahu činnosti firmy a její úspěšnosti svědčí to, že na konci účetního roku 1991 (tj. 29. prosince), vykázala firma příjem 1,22 biliónů dolarů.

Historie

AMD, jež má hlavní stan v Sunnyvale v Kalifornii, byla založena v roce 1969. Společnost byla založena původně s cílem působit jako alternativní „výrobní zdroj“, během času se však těžiště činnosti firmy změnilo – byl kladen důraz na to, aby se její působení přeneslo do těch oblastí, v nichž by byla činnost firmy co nejefektivnější, aby tak byly co nejlépe zhodnoceny investice vlastníků.

Zpočátku byla základní strategie firmy založena na přípravě stavebních bloků pro výrobce počítačových, přístrojových a telekomunikačních zařízení. Od svého vzniku se přitom AMD důsledně snažila o co nejvyšší standard jakosti svých výrobků při nezvýšených nákladech pro zákazníky.

S pokrokem v technologiích a promítáním možností firmy ve výrobě do obchodních plánů se základní zaměření firmy postupně měnilo. Dnes je základním posláním společnosti zásobovat nejrozličnější výrobce přístroji a součástmi pro personální, komunikační, síťovou a výpočetní práci prostřednictvím vlastních řešení při využití technologií CMOS na křemíku a to v submikronové oblasti. Tato řešení obsahují hardware i software a ostatní podpůrné prostředky. AMD se prasaže především svými vlastními patentovanými výrobky, proto je u firmy kladen velký důraz na výzkum a vývoj.

Přehled činnosti

AMD navrhuje, vyrábí a dodává velký komplex integrovaných obvodů a k tomu zaměstnává přibližně 11 200 lidí na celém světě.

Jak návrh a vývoj, tak samotná výroba jsou soustředěny do závodů AMD v Sunnyvale v Kalifornii, v Austrálii, v Tesaxu a smluvně i v San Antoniu (Texas). Testovací a montážní operace jsou vykonávány v Penangu v Malajsi, v Bangkoku ve Thajsku a v Singapuru.

Výrobky, které jsou určeny pro dodávky v Evropě a v Asii, se testují na zařízeních v Basingstoku v Anglii a v Atsugi v Japonsku.

Protože si vedení firmy od počátku uvědomovalo důležitost výzkumu a vývoje, bylo za 250 miliónů dolarů vybudováno výzkumné středisko Submicron Development Center, které začalo plně pracovat podle plánu v roce 1991. Bylo umístěno blízko budovy vedení firmy v Sunnyvale. Toto výzkumné a vývojové středisko umožňuje AMD vyvíjet technologie výroby využitím návrhových prostředků na méně než 3 mikrometrech (mikrometrech), což dává předpoklady k tomu, že se AMD udrží jako konkurence schopná firma i do konce tohoto století.

Strategie činnosti

AMD je připravena zakládat a udržovat takové vztahy se zákazníky, které jsou a budou charakteristické pro úspěšné obchodní dodávky integrovaných obvodů v nadcházejících letech. Úspěšnost těchto vztahů, jak je firma praktkovala dosud, dokládá i fakt, že mezinárodní prodej odpovídal (v roce 1991) přibližně 55 % všech příjmů, mezi zákazníky byly světové firmy takových jmen jako NEC, IBM, Siemens, Digital Equipments Corporation, Hewlett-Packard, Apple Computer, AT & T, Sun Microsystems, LM Ericsson atd.

Jádrem úspěšných obchodních vztahů firmy AMD se staly mazatelné programovatelné paměti typu EPROM, programovatelné logické součástky PLD a mikroprocesory řady X86. Firma AMD je předním světovým výrobcem součástek PLD a největším světovým výrobcem pamětí EPROM.

AMD vyrábí i průmyslové pětivoltové tranzistorové „buňky“ pamětí flash a to za efektivní pořizovací cenu. Do budoucnosti se předpokládá, že k úspěšnému růstu firmy budou významnými příspěvky tři oblasti výrobků:

Mikroprocesory

Nabídka na trhu IBM kompatibilních PC obsahuje 32bitový mikroprocesor Am386™, 16bitové mikroprocesory a dvě verze mikroprocesorů s velkou hustotou integrace, ty integrují všechny komponenty originální základní desky počítače AT IBM v jednom integrovaném obvodu CMOS. Výroba mikroprocesoru Am486™ začne v roce 1993.

Procesor Am29000™ s redukovanou 32bitovou řadou instrukcí – výpočtový mikroprocesor RISC – je plánován pro obrovský procesorový trh do budoucna.

Am29000™ je ideálním prvkem pro použití ve velmi výkonných procesorových aplikacích, jako např. v laserových tiskárnách, řadičích grafiky a sítí atd., tj. všude tam, kde se vyžaduje výjimečná rychlost a co nevyšší poměr cena/výkon. Am29000™ je podpořen množstvím hardwarových a softwarových prostředků a vývojovými prostředky. Součástky RISC jsou průmyslově nejúspěšnějšími 32bitovými mikroprocesory pro pevně dané aplikace.

Světové sítě

Svět se stává vzájemně propojený, počítače a telefony jsou klíčovými komponenty celosvětové komunikační sítě. Tato síť je sestavena ze vzdálených systémů, schopných přenášet obrazy, hlas i data současně a to s velkou rychlostí. Firma AMD nazývá toto spojování počítačů a sdělovacích prostředků „světový síťový systém“.

AMD pomáhalo razit cestu standardu lokální sítě ETHERNET a v současné době má v této oblasti jedno z vedoucích postavení na trhu. Nové, jednoduše provedení protokolu ETHERNET bude sloužit k řízení sítě ETHERNET na základní desce počítače.

Experti předvídají, že počítačové sítě Fiter Distributed Data Interface (FDDI) se budou těšit stejně explozivnímu rozšíření jako integrované obvody, které dělají tyto „superpevné“ sítě možnými. Síť FDDI využívá k přenosu dat rychlostí 100 megabitů za sekundu vláknovou optiku (desetinásobné zlepšení oproti dnešním nejpoužívanějším sítím). AMD hraje klíčovou roli v zavádění standardu FDDI a je uznávanou světovou vůdčí firmou v oblasti výroby čipů FDDI. AMD také vybudovala a řídí moderní síťové testovací centrum (Advanced Networking Test Center, ANTC). Toto zařízení dovoluje obchodníkům, aby testovali přístroje FDDI z hlediska kompatibility. Centrum ANTC je jedním z pouze dvou takových zařízení v USA.

Programovatelné logické součástky CMOS

AMD je největším světovým výrobcem PLD a rovněž vůdčí firmou v technologii. V bipolárních PLD, pracujících s rychlostí 4,4 ns, nabízí firma AMD součástky, které jsou podrobeny tvrdým testům v celém rozsahu výroby. V CMOS PLD má AMD výrobní kapacity v místě, které firmě umožňuje úspěšně působit v oblasti obchodu s CMOS PLD (stejně jako na úseku bipolárních součástek).

Filozofie firmy

Aby firma AMD byla na špičce jak po stránce řešení obvodů, tak po stránce jakosti, musí být ve světě na vedoucí pozici v návrhu, vývoji, výrobě, testování a samozřejmě i pokud jde o trh integrovaných obvodů, takže dává dostatečné prostředky jak na vývoj a výrobu, tak

např. na zkracování doby návrhu zákaznických obvodů a snižuje náklady na výrobu důsledným sledováním efektivity práce a řešení vývojových úkolů.

AMD se snaží udržet si a rozšířit vedoucí postavení na trhu integrovaných obvodů inovacemi a zefektivňováním nákladů na výrobu a hodlá se zaměřovat především na ty oblasti trhu, v nichž je nebo může být vedoucí firmou.

AMD se stala akciovou společností v roce 1972 a od roku 1979 je zapsána do seznamu firem na newyorské burze tradičním symbolem AMD.

SDC, Submicron Development Center

(„Submikronové“ vývojové středisko)

Schopnost vyrobit integrované obvody se submikronovým geometricky uspořádaným vedením představuje základní dělicí čáru, která v současné době odděluje dodavatele obchodně velmi úspěšných integrovaných obvodů od méně úspěšných.

Tuto situaci podporují uživatelé integrovaných obvodů, protože věří, že „submikronové geometrie“ jim poskytnou větší prospěch – menší rozměry vyvíjených obvodů totiž dovolují, aby v jakémkoli prostoru daného čipu bylo vykonáváno mnohem více funkcí, což dělá čipy rychlejšími, výkonnějšími a levnějšími. Nižší náklady zabezpečuje i větší výtěžnost při výrobě. Jinými slovy: Submikronová technologie umožňuje zákazníkům výrobce integrovaných obvodů, že mohou stavět výrobky, které jsou levné, kompaktnější a komplexnější i rychlejší, což ve svém důsledku snadněji vzbuzuje zájem konečného uživatele.

Submicron Development Center (SDC) vzniklo proto, aby předpokládaným výrobcům perzonálních, síťových, výpočetních a komunikačních zařízení mohla firma Advanced Micro Devices poskytnout možnost konstruovat zařízení co nejmodernější a to na submikronové bázi. SDC sousedí s budovou vedení AMD v Sunnyvale. K datu uvedení SDC do provozu přesáhly celkové investice do zařízení a přístrojů 250 miliónů dolarů.

Proč „submikron“?

Průmysl polovodičových součástek je počítán mezi základní výrobní odvětví. Snahou SDC je vyvinout co nejprogresivnější technologický proces, který by dovoľoval moderní účinnou výrobu a co největší výtěžnost. Návrh nového integrovaného obvodu bude samozřejmě po zásluze odměněn vždy, ale i ten nejchytřejší návrh je ve skutečnosti bezcenný bez technologického procesu, vykonávaného složitou litografickou cestou, při níž je možno přesně podle vzoru leptáním mnoha materiálů, nanášením a růstem vytvářet izolační plochy a vodiče, zavádět řízené do materiálů dotující prvky – to vše samozřejmě s vysokým stupněm přesnosti a opakovatelnosti.

Uvedené dílčí operace představují zjednodušené základ výroby integrovaných obvodů. Tento soubor procedur zahrnuje systematické propojení mnoha detailních výrobních kroků, které mohou být úspěšné pouze za předpokladu hlubokých znalostí všeho, co se týká výroby integrovaných obvodů a funkčních schopností dosažitelného

přístrojového vybavení. Při splnění posledně jmenovaných předpokladů je potom možné uvažovat o zvýšení výkonu té či oné součástky růstem hustoty jejích komponentů a o současné redukci výrobních nákladů.

Budoucnost je ve zmenšování

Centrum se stalo plně funkčním podle plánu v roce 1991. Za dobu (kratší než jeden rok), po níž je v činnosti, se podařilo vyrobit první křemíkové „plátky“ pro mazatelné programovatelné paměti typu EPROM technologií CMOS tzv. 0,85mikronovou. V současné době SDC je schopné předvést vývojové verze třířístvové „metalové“ logiky na bázi 0,7mikronové technologie a paměťové součástky, které jsou charakterizované 0,5mikronovými rozměry. K dispozici jsou i vzorky, jejichž případná výroba bude charakterizována rozměry 0,25 mikronu (1 mikron = 1 mikrometr = 10^{-6} m). Pro představu: Typická průměrná tloušťka lidského vlasu je asi 100 μ m, 100 mikronů.

V roce 1975 představovaly průmyslový standard technologické procesy pěti až 8mikronové. V roce 1975 byla např. standardní výrobitelná šířka spoje obvykle asi 2 mikrony. Dnes jsou průmyslovým standardem technologie submikronové.

O jak složité problémy jde, vysvitne z náhorného příkladu: Představme si schopný technologický proces ekvivalentní běžnému leptání, jímž bychom chtěli v jednomikronové technice vytvořit komplexní silniční mapu Manhattanu na hlavičce špendlíku. Kdyby tato „automapa“ byla skutečným integrovaným obvodem, muselo by být „narovnáno“ na sebe několik čipů podobné složitosti, které by pak byly vzájemně propojeny množstvím spojů.

Specifikace činnosti SDC

SDC kromě toho, že inovuje průběžně existující technologie, aby se mohlo co nejdokonaleji využít jejich možností, věnuje pozornost i zcela novým a netradičním řešením. To, na co je však kladen v SDC největší důraz, je tzv.

program budování čistoty.

Největším nepřitelem všech účinných výrobních operací jsou totiž kontaminující častice. Jak se zmenšují geometrické rozměry spojů a částí integrovaných obvodů, cizí částice, které jsou velmi malé, interferují s méně pokročilými výrobními operacemi a musí s nimi být počítáno. Proto musí mít tzv. čisté prostory Centra méně než jednu částici na krychlovou stopu (1 stopa, foot, ft = 0,304 8 m, 1 krychlová stopa, 1 cu.ft = 0,028 m³), přitom tyto částice jsou i menší než 0,1 μ m. Programu „budování čistoty“ bylo věnováno obrovské úsilí, neboť bylo zřejmé, že čistota je prvním předpokladem úspěšné submikronové výroby. Když pracovníci SDC začali vyrábět první křemíkové plátky, byli oblečeni ve speciálních pracovních úborech a pracovali v nejčistších prostorách na světě.

Stejně jako bylo nutné zajistit „čistý vzduch“, musela být zajištěna čistota používané deionizované vody. Extrémní čistoty vody se dosahuje i čištěním vody ozónem, který vodu steriluje a zbavuje ji bakterií, čímž se zabraňuje jejich biologickému růstu, který by mohl probíhat při některých výrobních operacích.

(Dokončení na str. 40)

PŘEVODNÍKY D/A 8b

Vítězslav Stríž

Zpracování signálů v analogových systémech se v přibývajícím míře provádí moderní číslicovou technikou. Tento trend podstatně nabývá na významu v důsledku rozvoje oboru mikroprocesorové techniky. Souhra mezi analogovými vstupními a výstupními funkcemi a číslicovým zpracováním signálů však vyžaduje číslicově-analogové meziobvody, které vyžadují použití zvláštních převodníků.

Podle „směru“ funkce rozeznáváme analogově-číslcové převodníky, které přeměňují analogové signály na signály číslicové a číslicově-analogové převodníky, které naopak přeměňují číslicové signály na analogové informace.

Podle způsobu, v němž se přivede číslicový signál na vstup číslicově-analogového převodníku (dále jen převodníku D/A), můžeme rozdělit převodníky D/A na paralelní a sériové. Paralelní převodník má tolik vstupů, kolik mají zpracovávaná číslicová slova délku v bitech. Každé slovo bude vloženo paralelně, tj. všechny bity slova budou současně přivedeny na vstup a současně převodníkem zpracovány.

Sériové převodníky naproti tomu potřebují jen jeden vstup, na který se přivádějí jednotlivé a postupně bity číslicového slova bit po bitu. K ohraničení jednotlivých bitů je u tohoto druhu převodníku nutný přídavný hodinový signál.

Do nedávna se používaly převodníky A/D a D/A jen sporadicky a jejich prodej, stejně jako sortiment, byl poměrně malý. Na trhu se vyskytovalo mnoho speciálních typů převodníků, jejichž charakteristickou vlastností byla nezvykle vysoká cena. Převodníky se vyráběly téměř výlučně modulovou nebo hybridní technikou v pouzdech s vnějšími rozměry $100 \times 50 \times 12$ až 15 mm nebo i většími.

Během několika posledních let se tento stav podstatně změnil. Inovace probíhající v elektronice, ale především rychlý rozvoj mikroelektroniky, jednoduché a nenákladné zpracování číslicových signálů současně s rychle se rozvíjejícím trhem mikroprocesorů, vyvolala požadavky na kvalitní a levné převodníky A/D a D/A. Požadavky na vysoce kvalitní systémy bylo možné zajistit jen číslicovým způsobem. Hlavní úkol převzali výrobci integrovaných obvodů. Výsledek na sebe nedal dlouho čekat. Dlouhodobé zkušenosti z výroby monolitických křemíkových integrovaných obvodů se projeví i ve výrobě převodníkových obvodů. Dnes jsou k dispozici převodníkové integrované obvody s rozlišením 8, 10, 12, 16 i více bitů, vyrobené monolitickou bipolární nebo unipolární technologií, tak jako jiné druhy integrovaných obvodů. To vše technicky na vyšší úrovni a za podstatně nižší ceny než výrobků jiných technologií.

Převodníky D/A

Číslicově analogový převodník je součástka, která převádí číslicové vstupní informace na odpovídající analogovou výstupní in-

formaci. Výstupní informace je k dispozici ve tvaru výstupního napětí nebo výstupního proudu.

V následujících odstavcích budou pojednávány pouze paralelní převodníky D/A, neboť většina současně používaných sběrníkových systémů spolupracuje pouze s paralelními číslicovými informacemi.

Výstup převodníku D/A může na základě přiřazení k číslicovému kódu převzít jen zcela určité pevné hodnoty uvnitř předem daného rozsahu. Jde tedy o kvantizovaný signál. Počet možných analogových výstupních hodnot, popř. vzdálenost mezi dvěma sousedními hodnotami jsou určeny počtem možných číslicových slov (bitové kombinace).

Ve spojení s převodníky budeme pracovat s nejdůležitějším kódem – jednotlivým bitům číslicového slova se budou přidávat rozdílné faktory. Dále popisované převodníky pracují v binárním kódu, který je nejpoužívanějším a nejdůležitějším kódem vůbec. Binární kódované slovo má tvar

$$B_N \cdot 2^N + B_{N-1} \cdot 2^{N-1} + \dots + B_2 \cdot 2^2 + B_1 \cdot 2^1 + B_0 \cdot 2^0$$

kde bitové součinitele B_N až B_0 mohou mít hodnotu 0 nebo 1 (tedy přibližně úroveň L nebo H).

Délka slova u nejpoužívanějších převodníků činí 8 bitů. Tím je možné zobrazit 256 diskretních hodnot. Je-li např. celkový možný rozsah hodnot analogového výstupu přiřazen napětíovému zdvihu 5 V, bude činit odstup mezi dvěma sousedními analogovými hodnotami 19,6 mV.

Kódy používané ve spojení s převodníky D/A a A/D jsou jen krátce uvedeny v tabulce 1 na příkladu převodníku s rozlišením 3 bity.

Tab. 1. Používané kódy u převodníků A/D a D/A na příkladu převodníku 3 b

A/D	Vstup	Výstup			Vstup	Výstup		
D/A	Výstup	Vstup			Výstup	Vstup		
Kód	Unipolární	Binární			Bipolární	Ofset binární		
		bit 1 (MSB)	bit 2	bit 3 (LSB)		bit 1 (MSB)	bit 2	bit 3 (LSB)
	FS – 1 LSB	1	1	1	+ (FS – 1 LSB)	1	1	1
	FS – 2 LSB	1	1	0	+1/2 FS	1	1	0
	1/2 FS + 1 LSB	1	0	1	+1 LSB	1	0	1
	1/2 FS	1	0	0	0	1	0	0
	1/2 FS – 1 LSB	0	1	1	–1 LSB	0	1	1
	1/2 FS – 2 LSB	0	1	0	–1/2 LSB	0	1	0
	1 LSB	0	0	1	– (FS – 1 LSB)	0	0	1
	0	0	0	0	–FS	0	0	0

Zda je číslicová veličina vstupní či výstupní veličinou, určuje druh použitého převodníku (A/D nebo D/A). Kód je jednoduše realizovatelný a může se početně snadno vyjádřit. Má-li převodník zpracovávat analogové hodnoty mezi $-FS$ a $+FS - 1$ LSB nebo mezi 0 a $FS - 1$ LSB, lze přímo určit vnějším zapojením použité převodníkové součástky.

Ideální převodník D/A

Za předpokladu, že převodník D/A dodává unipolární výstupní napětí U_0 a že na jeho vstup je přivedena číslicová informace v binárním kódu, platí

$$U_0 = U_{FS} (B_1 \cdot 2^{-1} + B_2 \cdot 2^{-2} + B_3 \cdot 2^{-3} + \dots + B_n \cdot 2^{-n})$$

kde B_1 je nejvyšší platný bit (MSB), B_n nejnižší platný bit (LSB). Bity B_1 a B_n mohou mít hodnotu 1 nebo 0 (úroveň H nebo L). Nejmenší ještě možná velikost napětí (popř. proudu), kterou může ještě převodník zpracovat, určuje jednotlivé intervaly. Nejmenší možný krok, který je určen tolerancemi součástky, je označován jako LSB (Least Significant Bit) – nejnižší platný bit, tedy údaj nejnižšího stupně. Odtud se rovná

$$1 \text{ LSB} = U_{FS} \cdot 2^{-n}$$

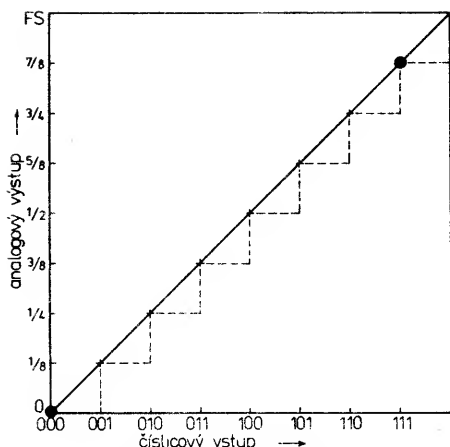
Maximální výstupní napětí dostaneme, jsou-li všechny bity rovny 1:

$$U_0 = U_{FS} \left(\frac{2^n - 1}{2^n} \right) = U_{FS} - 1 \text{ LSB}$$

U převodníku s rozlišením n bitů dostaneme na výstupu počet stupňů $2^n - 1$ a plná stupnice tak bude $FS - 1$ LSB.

Přibližně (kvazi) dosažitelnou analogovou hodnotu (pro plnou stupnici) označujeme FS a vedoucí bit (nejvyšší platný bit) MSB (Most Significant Bit). Po přivedení MSB na vstup převodníku D/A dostaneme na jeho analogovém výstupu stav FS/2.

Přenosová charakteristika ideálního převodníku D/A s rozlišením 3 b je znázorněna na obr. 1. Přivedením každého z osmi čísli-



Obr. 1. Přenosová charakteristika ideálního převodníku D/A 3 b. Oba velké body se v praxi definují vyvážením

cových dat na vstup dostaneme odpovídající analogový výstupní údaj, který představuje jeden bod na přenosové charakteristice. V ideálním případě leží všechny body přesně na čárkované přímkě. Zatím však neuvažujeme vliv doby ustálení, kterou převodník potřebuje ke své funkci.

Máme-li převodník D/A 3 b s konečnou velikostí pro plný rozsah $U_{FS} = 2,5 \text{ V}$, jsou dána následující data vztahy:

Za předpokladu, že N = desítkové číslo na vstupu převodníku přivedeného číslcového kódu, platí:

$$U_{0N} = U_{FS} (B_1 \cdot 2^{-1} + B_2 \cdot 2^{-2} + B_3 \cdot 2^{-3})$$

$$U_{07} = 2,5 \text{ V} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} \right) =$$

$$= 2,5 \frac{7}{8} \text{ V} = U_{FS} - 1 \text{ LSB}$$

$$U_{04} = 2,5 \text{ V} \left(\frac{1}{2} + 0 + 0 \right) =$$

$$= 2,5 \frac{1}{2} \text{ V} = \text{MSB}$$

$$1 \text{ LSB} = \frac{U_{FS}}{2^n} = \frac{2,5 \text{ V}}{2^3} = 0,3125 \text{ V}.$$

Počet stupňů převodníku =
 $2^n - 1 = 8 - 1 = 7$.

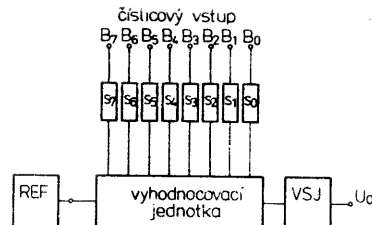
Převodník D/A, jeho konstrukce a funkce

Převodníky D/A se v podstatě skládají ze čtyř stavebních skupin:

- binární spínací jednotky pro bitové součinitele B_N až B_0 ,
- zdroje referenčního napětí,
- vyhodnocovací jednotky,
- výstupní součtové jednotky.

Převodníky, slučitelné s mikroprocesorovými systémy, jsou zpravidla rozšířeny ještě o vstupní paměť, popříp. další speciální stupně.

Zdroj referenčního napětí, popříp. proudu je v systému převodníku uspořádán vždy jako oddělená část obvodu, která se často realizuje jako samostatný zvláštní obvod. Závisí to především na skutečnosti, že na jedné straně nelze splnit všechna přání uživatele pomocí jediného referenčního napětí, na straně druhé pak pro mnohá použití (např. násobiče) není referenční napětí případně vůbec potřebné. Všechny ostatní



Obr. 2. Blokové zapojení jednoduchého převodníku D/A 8 b. REF – referenční jednotka (zdroj referenčního napětí nebo proudu), VSJ – výstupní sumační jednotka, U_0 – analogový výstup

jmenované jednotky jsou však pevnými součástkami jediného integrovaného obvodu.

Na obr. 2 a 3 jsou znázorněna zjednodušená bloková zapojení jednoduchého převodníku D/A s rozlišovací schopností 8 b a téhož převodníku slučitélného s mikroprocesorovými systémy. Oba obvody se odlišují pouze vstupní záchytnou pamětí. Protože zapojení převodníku podle obr. 3 obsahuje všechny stavební skupiny, poslouží nám jako základ pro výklad konstrukce a funkce převodníkového obvodu.

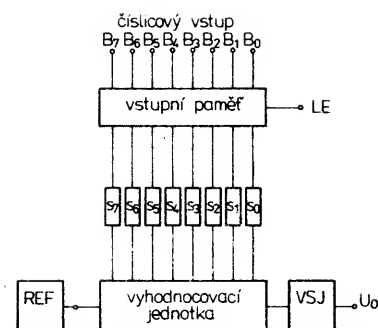
Bitové součinitele B_7 až B_0 vstupního číslcového slova se přivádějí na osm vstupů převodníku. Je-li vstup uvolnění střadače LE ve stavu úrovně H, může projít číslcové slovo přes paměť až na spínací jednotku S_7 až S_0 . Změní-li se nyní úroveň signálu na vstupu LE na nízkou úroveň L, zůstane obsaženo číslcové slovo v paměti a dále působí na spínací jednotku. Právě vstupující změny signálu na vstupy nemají nyní žádný účinek.

Vyhodnocovací jednotka vyrábí osm binárně odstupňovaných dílčích proudů (v poměru 128 : 64 : 32 : 16 : 8 : 4 : 2 : 1), které podle hodnoty bitových součinitelů B_7 až B_0 jsou propojeny přes spínací jednotku S_7 až S_0 buď na výstupní součtovou jednotku (B_N je v úrovni H) nebo na zem (B_N v úrovni L). Výstupní součtová jednotka je v nejjednodušším případě uzel obvodu, v němž se vytvoří součet všech dílčích proudů. Může však být použit i operační zesilovač, který přemění výstupní proud na výstupní napětí.

Hodnota dílčích proudů se získává z referenčního proudu I_{REF} , předávaného referenční jednotkou na vyhodnocovací jednotku. Referenční proud I_{REF} je závislý na výstupním proudu I_0 podle vztahu

$$I_0 = I_{REF} \left(\frac{B_7}{2} + \frac{B_6}{4} + \dots + \frac{B_2}{64} + \frac{B_1}{128} + \frac{B_0}{256} \right) \quad (1).$$

Bitové součinitele B_7 až B_0 určují svou úroveň (0 nebo 1) výstupní proud. Jsou-li všechny



Obr. 3. Blokové zapojení převodníku D/A 8 b, slučitélného s mikroprocesory. REF – referenční jednotka, VSJ – výstupní sumační jednotka, LE – vstup uvolnění střadače

součinitele v úrovni 0 (úroveň = L), je výstupní proud roven 0. Jsou-li všechny součinitele rovny 1 (úroveň = H), platí

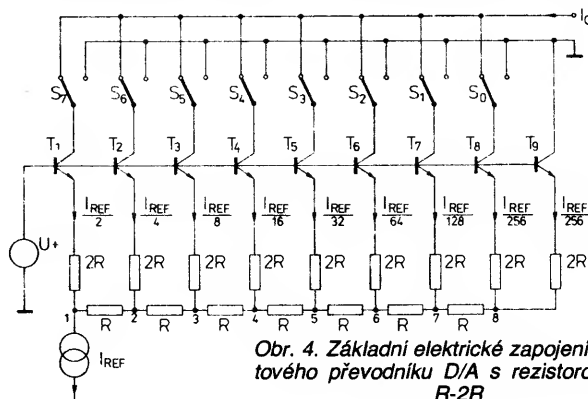
$$I_0 = \frac{255}{256} I_{REF} \quad (2).$$

Popsaným způsobem vzniká na výstupu analogový ekvivalent vstupního číslcového slova.

K realizaci vyhodnocovací jednotky, která v podstatě určuje přesnost funkce převodníku D/A, je možné využít různých možností (vyhodnocovací rezistory, odstupňované dílčí proudy apod.), z nichž se z hlediska technologie integrovaných obvodů jeví jako nejvhodnější rezistorová síť R-2R. Souvisí to též s tím, že pro tuto jednotku jsou potřebné pouze dva rezistory ve vzájemném poměru 2 : 1. Nejde tedy v tomto případě o absolutní přesnost (toleranci) použitých rezistorů, ale o přesnost relativní. Uvedené řešení má přednost potud, že rezistory stejného řádu s malými relativními tolerancemi je možné integrovanou technikou vyrobit poměrně snadno a dobře.

Na obr. 4 je znázorněno základní zapojení převodníku D/A s rezistorovou sítí R-2R. Protože tranzistory T_1 až T_9 svými rozměry odpovídají proudovému zatížení, dosahuje se ve spojení se společným napětím báze všech tranzistorů toho, že emitor je na stejném potenciálu. Tato úprava slouží k tomu, aby se nastavilo žádané rozdělení proudu v rezistorové jednotce.

Referenční proud I_{REF} se rozděluje v uzlovém bodě 1 v poměru odporů obou rezistorů, připojených v tomto bodě. Jeden rezistor je zapojen jako diskretní rezistor 2R, druhý je tvořen zbývajícím rezistorovou sítí R-2R. Vyjdeme-li z bodu 8, nacházíme vpravo vedle každého uzlu rezistor 2R. Ten tvoří spolu s nahoru odbočujícím rezistorem 2R paralelní odpor R. To současně znamená, že v tomto uzlovém bodě doleva protékající proud



Obr. 4. Základní elektrické zapojení osmibitového převodníku D/A s rezistorovou sítí R-2R

bude mít poloviční velikost. K tomuto paralelnímu zapojení se přičítá doleva odbočující sériový rezistor R , takže od nejbližšího levého uzlového bodu (7) vychází opět odpor $2R$. Tedy i v tomto bodě bude mít doleva protékající proud poloviční velikost. Stejným způsobem můžeme pokračovat až k bodu 1. Z toho můžeme odvodit, že se referenční proud rozděluje následovně:

V uzlovém bodu 1 vznikají dva proudy $I_{REF}/2$, v bodě 2 dva proudy $I_{REF}/4$ atd. až do uzlového bodu 8, kde vystupují dva proudy $I_{REF}/256$. Tím jsou splněny dva základní vztahy (1) a (2) vzhledem k proudovému rozdělení za podmínky, že poslední dílčí proud $I_{REF}/256$ musí protékat tranzistorem T_9 k zemi.

Tranzistory T_1 až T_8 zaručují nejen stejné potenciály na rezistorech $2R$, ale oddělují též rezistorovou síť od spínač jednotky S_7 až S_0 . Na kolektorech tranzistorů T_1 až T_8 mohou být libovolná napětí v širokých mezích, aniž by se napětí na rezistorové síti měnilo. Tímto způsobem se zamezí tomu, aby parazitní kapacity ve vyhodnocovací jednotce musely měnit náboj, což by se mohlo v rušivých špičkách (zvaných též glitches – změny průběhu s krátkým trváním a neurčitým původem) projevit na výstupním proudu.

Na kolektorech tranzistorů T_1 až T_8 lze odebrat binárně rozdělené dílčí proudy, které v závislosti na stavu sepnutí spínačů S_7 až S_0 mohou protékat přes výstup I_O nebo zemní vývod. Tím se realizuje rovnici (1) stanovený vztah mezi výstupním a referenčním proudem. Většina převodníků D/A, které budeme dále popisovat, pracuje na popsaném principu funkce. Odlišují se jen koncepcí vlastního obvodu.

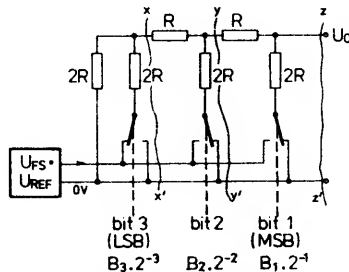
Jak je z obr. 4 patrné, mohou se vývody spínačů S_7 až S_0 , které jsou připojeny na zemní potenciál, sloučit a používat jako invertované výstupy I_O . Kolektor tranzistoru T_9 musí být nadále připojen na zemní potenciál.

Vedle provozu s pevným referenčním proudem mohou mnohé převodníky D/A pracovat s proměnným referenčním proudem a podle okolností případně se střídavým referenčním proudem. Tento druh převodníků je nazýván násobící převodník D/A, neboť dovoluje, což lze na vztahu (1) lehce dokázat, násobení analogových veličin (představovaných proudem I_{REF}) číslicovými veličinami (představovanými číslicovým slovem B_7 až B_0). Výsledek je pak k dispozici na výstupu převodníku D/A v analogovém tvaru. Násobící převodník je vedle „čistého“ převodníku D/A nejvíce používaným typem převodníku D/A.

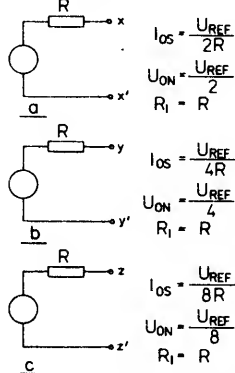
Rezistorová síť tříbitového převodníku

Vraťme se však k našemu tříbitovému převodníku. Praktická realizace převodníku D/A s rezistorovou sítí R-2R pro tříbitový převodník je znázorněna na obr. 5. Přes spínače S_1 až S_3 budou spojeny rezistory $2R$ buď se zemním potenciálem ($B_n = 0$) nebo s referenčním napětím U_{REF} ($B_n = 1$). Přednost rezistorové sítě spočívá v technologii integrovaných obvodů v poměru rezistorů 1 : 2. Rezistorová síť R-2R je vhodná pro monolitické obvody až do rozlišovací schopnosti 8 bitů. Referenční napětí U_{REF} , které je nutné u všech druhů převodníků, odpovídá napětí U_{FS} .

Přeruší-li rezistorovou síť v bodech $x-x'$, $y-y'$ a $z-z'$, a pozorujeme-li obvod smě-



Obr. 5. Rezistorová síť R-2R se spínači a zdrojem referenčního napětí tříbitového převodníku



Obr. 6. Náhradní obvody zjednodušených obvodů podle obr. 4. a – v řezu $x-x'$, b – v řezu $y-y'$, c – v řezu $z-z'$

I_{OS} – zkratový proud obvodu, U_{ON} – výstupní napětí obvodu naprázdno, R_i – vnitřní odpor

rem doleva, můžeme odvodit následující náhradní obvody podle obr. 6. Spínač S_3 je připojen na referenční napětí, oba další spínače S_2 a S_1 jsou spojeny se zemí. Tím je dáno výstupní napětí

$$U_O = U_{REF} \cdot 2^{-3}.$$

Odtud je možné odvodit, že

$$U_O = U_{REF} \cdot 2^{-2} (S_1 = 0, S_2 = 1, S_3 = 0)$$

$$U_O = U_{REF} \cdot 2^{-1} (S_1 = 1, S_2 = 0, S_3 = 0)$$

Proložíme-li jednotlivá odvozená výstupní napětí, dojdeme k očekávanému výsledku $U_O = U_{REF} (B_1 \cdot 2^{-1} + B_2 \cdot 2^{-2} + B_3 \cdot 2^{-3})$. Všeobecně pak platí

$$U_O = U_{FS} (B_1 \cdot 2^{-1} + B_2 \cdot 2^{-2} + B_3 \cdot 2^{-3} + \dots + B_n \cdot 2^{-n}).$$

Vnitřní odpor rezistorové sítě R_i je roven R . Zatíží-li se rezistorová síť vnějším zatěžovacím odporem R_L , platí

$$U_O = \frac{R_L}{R + R_L} U_{REF} (B_1 \cdot 2^{-1} + B_2 \cdot 2^{-2} + \dots + B_3 \cdot 2^{-3}).$$

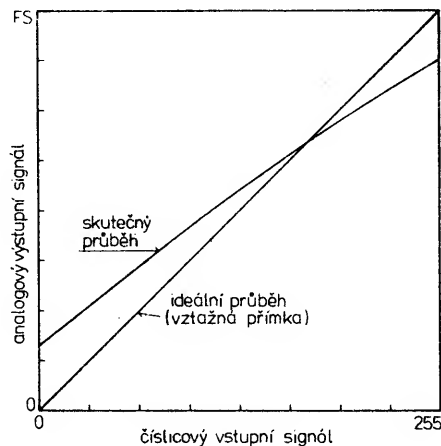
Nejdůležitější charakteristické vlastnosti převodníků D/A

Charakteristické vlastnosti převodníků D/A jsou určovány několika parametry – přesností, rychlostí a stabilitou.

Přesnost

Při dosavadním sledování funkcí převodníku D/A jsme vycházeli z vlastností ideálního převodníku. V praxi se však ideální převodník nevyskytuje. Naopak, na vlastnosti převodníku působí řada jiných vlivů, které jeho vlastnosti více či méně zhoršují. Jsou to např. tolerance odporů rezistorové sítě R-2R, vnitřní odpory proudových a napěťo-

vých zdrojů a ovšem též odpor v propustném a závěrném směru spínačů S_7 až S_0 . V praxi se tedy vyskytují odchylky výstupní charakteristiky převodníku ve srovnání s ideálním průběhem. Na obr. 7 je znázorněna ideální a pro srovnání v praxi obvyklá skutečná výstupní charakteristika převodníku. Zde je

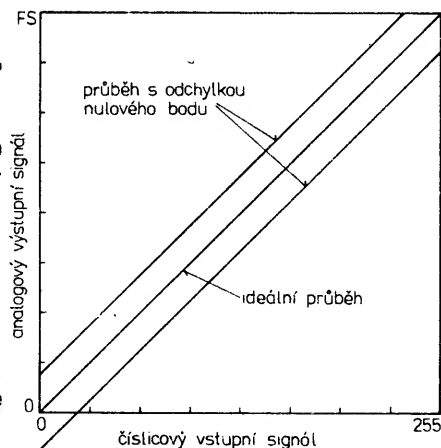


Obr. 7. Praktická výstupní charakteristika nevyváženého systému převodníku D/A

třeba upozornit, že výstupní charakteristika na obr. 7 a dalších obrázcích, znázorněna jako plynulá funkce, má ve skutečnosti jemně odstupňovaný stupňovitý průběh s 255 stupni. Odchylky výstupní charakteristiky se mohou ve srovnání s ideálním průběhem rozdělit do tří skupin:

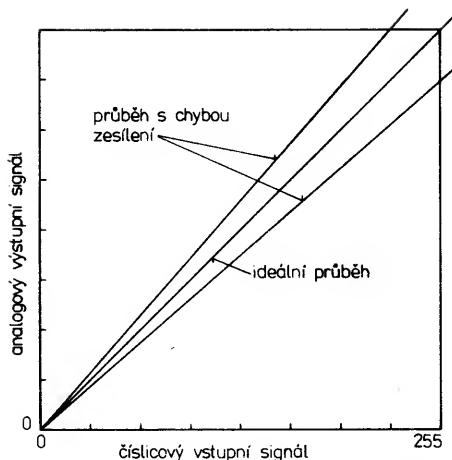
1. Odchylka nulového bodu

Jako odchylku nulového bodu označujeme velikost výstupního napětí, posunutou v nulovém bodě vůči přenosové charakteristice, je-li na vstupu číslicové slovo 0. Odchylku nulového bodu způsobuje paralelní posunutí výstupní charakteristiky vlevo nebo vpravo od nulového bodu (viz obr. 8). Při-



Obr. 8. Odchylka nulového bodu výstupní charakteristiky

nou jsou přechodové odpory vývodu pouzdra, svaru vývodů a offsetové napětí analogového spínače. Není-li chyba nulového bodu vztažena k úrovni 0, vzniká konstantní absolutní chyba přenosové charakteristiky.



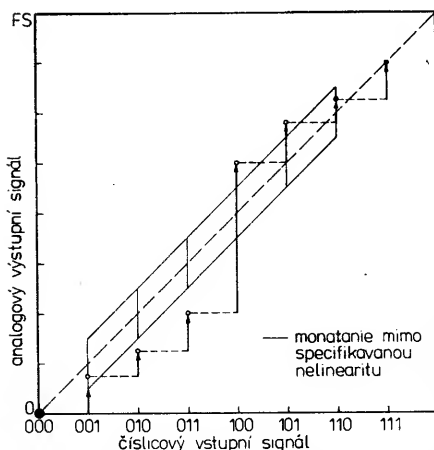
Obr. 9. Pootočení výstupní charakteristiky okolo nulového bodu vlivem chyby zesílení

2. Chyba zesílení

Chybou zesílení se označuje odchylka výstupního signálu od ideální velikosti, je-li na vstupu převodníku číselné slovo 255. Chyba zesílení způsobuje pootočení výstupní charakteristiky okolo nulového bodu, jak je patrné z obr. 9. Způsobují ji rozdílné velikosti zesílení a teplotní součinitel součástek. Chyba se udává zpravidla v jednotkách ppm/K, nebo též $n \cdot 10^{-6}/K$.

3. Nelinearita

O chybě nelinearity se zmíníme pro úplnost. Zaviňuje ji skutečnost, že výstupní charakteristikou je obecně přímka, ale poněkud zvlněná, popřípadě navíc zakřivená. Odchylku od nulového bodu a chybu zesílení můžeme vyvážením vnějšími součástkami vyloučit. Nelinearitu převodníku však vyrovnat není možné. Pod pojmem nelinearita rozumíme maximální odchylku od ideální přímky v nulovém a konečném bodě. Je-li tato chyba specifikována uvnitř rozsahu $\pm 1/2$ LSB, je převodníkový uvnitř šrafovaného pásma na obr. 10. Bude-li však přenosový bod mimo šrafovanou oblast, nesplňuje převodník žádané vlastnosti. Může se stát, že převodník ve vztahu k nelinearitě je mimo požadované vlastnosti, přesto však

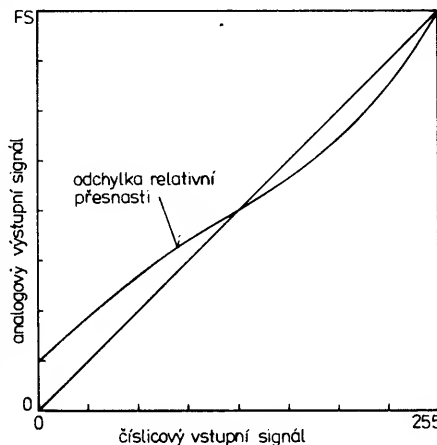


Obr. 10. Nelinearita na příkladu převodníku D/A 3 b. Tučnou čarou je vyznačená monotonie, která je však mimo specifikovanou oblast nelinearity

ještě splňuje požadavek na monotonii (viz obr. 10).

Relativní přesnost

Pod pojmem relativní přesnost rozumíme maximální odchylku výstupní charakteristiky definované převodníku od přímky, která spojuje podle obr. 11 nulový bod s příslušným údajem výstupního signálu a to za podmínky přivedení číselného slova 255 na vstup převodníku (pro FS). Převodník je při měření provozován s udaným referenčním proudem podle katalogového listu výrobce (např. 2 mA).



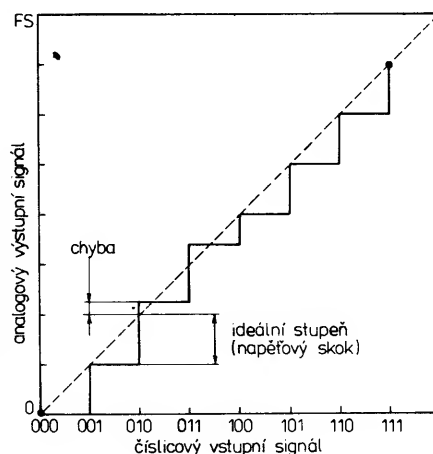
Obr. 11. K definici relativní přesnosti: Maximální odchylka výstupní charakteristiky převodníku D/A od přímky, způsobená přivedením číselného slova 255 na vstup převodníku

Linearita

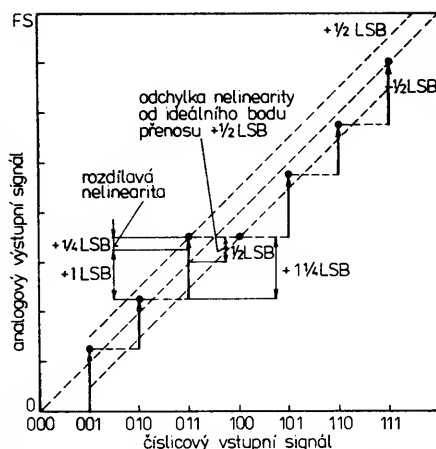
Pojem linearita v podstatě odpovídá pojmu relativní přesnost. Může být stanovena tak, aby se projevila nejmenší odchylka skutečné platné charakteristiky převodníku. V technických údajích převodníků D/A některých výrobců se tento pojem (linearita) nevyskytuje (např. v katalogových listech firem Signetics, Valvo, Philips, Motorola aj.).

Rozdílová nelinearita

Rozdílová nelinearita udává chybu skutečného výstupního stupňovitého signálu, vztaženého na jmenovitou velikost stupňovitého signálu, vyvolanou změnou na číselném vstupu o 1 LSB (tedy o jeden bit s nejnižší platností). Grafické znázornění rozdílové nelinearity je uvedeno na obr. 12.



Obr. 12. Definice rozdílové nelinearity



Obr. 13. Rozdílová nelinearita ve srovnání s nelinearitou. Ačkoli přenosové body leží uvnitř hranic nelinearity ($\pm 1/2$ LSB) specifikovaného převodníku D/A, přesto nemá převodník monotónní vlastnosti

Jinak řečeno, tento údaj specifikuje odchylku dvou sousedních stupňů proti skutečné přenosové funkci. Odchylka se označuje, podobně jako u nelinearity, hodnotou LSB (viz obr. 13). Při zobrazování přenosové charakteristiky se vychází z předpokladu, že převodník má následující chyby:

- bit 1 (MSB) $-1/2$ LSB,
- bit 2 $+1/4$ LSB,
- bit 3 (LSB) $+1/4$ LSB.

K lepšímu objasnění rozdílu mezi nelinearitou a rozdílovou nelinearitou jsou v tabulce 2 sestaveny chyby mezi jednotlivými body přenosové charakteristiky.

Tab. 2. Sestava chyb nelinearity a rozdílové nelinearity pro grafickou závislost podle obr. 13

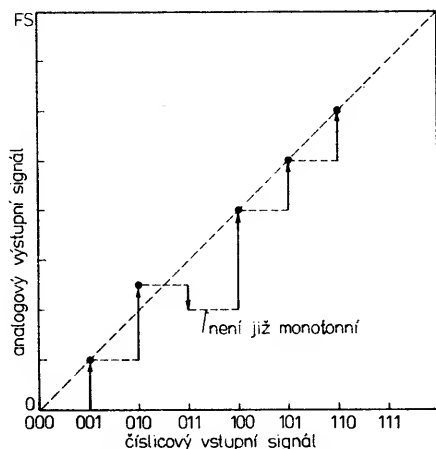
Číslicový kód	Rozdílová nelinearita	Nelinearita
000	-	0
001	$+1/4$ LSB	$+1/4$ LSB
010	0	$+1/4$ LSB
011	$+1/4$ LSB	$+1/2$ LSB
100	-1 LSB	$-1/2$ LSB
101	$+1/4$ LSB	$-1/4$ LSB
110	0	$-1/4$ LSB
111	$+1/4$ LSB	0

Monotonie

Chování převodníku D/A se označuje jako monotónní, jestliže se výstupní signál s přirůstkem velikosti číselného slova na vstupu trvale zvětšuje, popřípadě zůstane stejný. Změna výstupního signálu o 1 LSB musí vyvolat zvětšení výstupního signálu, jinak se stává převodník nemonotónním. Podle této definice většina výrobců hodnotí své převodníky pro praktické uplatnění. Průběh výstupního signálu na obr. 14 představuje monotónní průběh funkce. Převodník se však chová jako nemonotónní, jestliže se při změně vstupního signálu o 1 LSB (např. při změně číselného vstupního slova z 010 na 011) výstupní signál nezvětší. S jistotou se může očekávat, že monotónní vlastnosti převodníku nastanou vždy, bude-li rozdílová nelinearita menší než 1 LSB.

Rozlišovací schopnost

Rozlišovací schopnost závisí na nejmenším možném kroku (LSB), při němž může převodník D/A (stejně jako převodník A/D)

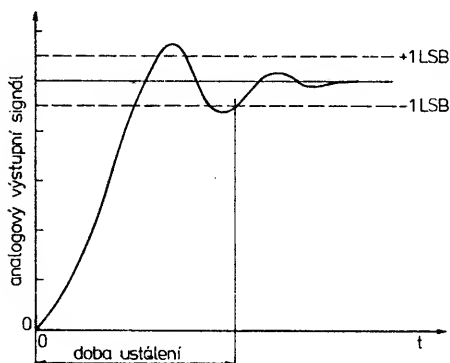


Obr. 14. Nemonotonní průběh výstupní charakteristiky

ještě zpracovávat signál. Se stoupajícím počtem bitů převodníku se zvětšuje jeho rozlišovací schopnost. Rozlišovací schopnost však vůbec nic neříká o odchylkách od ideální přenosové charakteristiky.

Rychlost

Úkolem převodníku D/A není jen pokud možno co nejpřesněji přeměnit vstupní číselný signál na signál analogový, ale tento převod má proběhnout v co nejkratším čase. Zpoždění signálu, které při převodu signálů vzniká, je označováno jako doba ustálení. Pod tímto pojmem se udává časový úsek od okamžiku přivedení číselného slovního kódu až do doby, kdy se na výstupním signálu již více nemění stanovená hranice rozkmitu. Ponejvíce to bývá omezeno tolerancí ± 1 LSB. Doba ustálení je graficky definována na obr. 15. Údaj doby ustálení se vždy vztahuje na určité zkušební podmínky a je podle okolností závislý na zapojení výstupu převodníku.

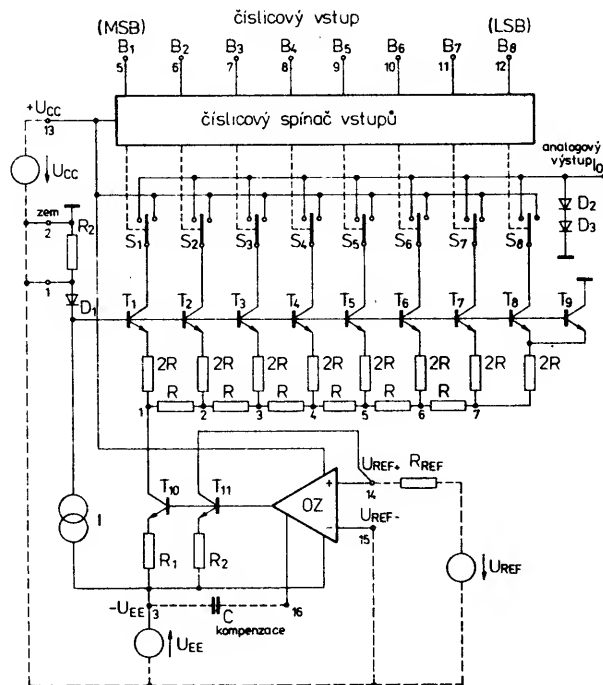


Obr. 15. Definice doby ustálení

Stabilita

Údaje o stabilitě se u převodníků D/A vztahují na analogový výstupní signál. Přitom se rozeznává závislost tohoto signálu na teplotě a na napájecím napětí, popř. na obou těchto veličinách a jejich změnách.

Vliv teploty se udává v jednotkách ppm/K (nebo $n.10^{-6}/K$), vliv napájecího napětí v mV/V, popř. $\mu V/V$, vztaheno ke konečné velikosti stupnice použitého měřicího přístroje. Jako doplňující údaj o stabilitě převodníku udávají výrobci někdy též podíl procentuální změny konečné velikosti stupnice (FS) a procentuální změny napájecího napětí.



Obr. 16. Vnitřní elektrické a funkční skupinové zapojení převodníků D/A řady MC1408, MC1508

Vlastnosti a použití převodníků D/A

Mezi nejrozšířenější převodníky D/A patří pět základních řad převodníků násobícího typu s rozlišením 8 bitů, které zahrnují součástky levné pro méně náročná zapojení, ale i přesné převodníky pro ty nejnáročnější účely.

Převodníky řady MC1408, MC1508

Monolitické převodníky D/A řady MC1408, MC1508 sdružují zesilovač referenčního proudu, rezistorovou jednotku R-2R a osm rychlých proudových spínačů. Jejich zjednodušené elektrické a funkční skupinové zapojení je uvedeno na obr. 16, z něhož lze odvodit hlavní funkce.

Číslicové vstupy B₁ až B₈ řídí přes osm číselných vstupních spínačů spínače S₁ až S₈. Obvodové uspořádání je neinvertující, signál úrovně H na vstupu proto spíná příslušný výstupní proud odporové jednotky ze zdroje U_{CC} na analogový výstup I_O. Výstup I_O tedy vede součet dílčích proudů, jejichž číselové vstupy jsou ve stavu úrovně H. Proud protéká směrem do vývodu I_O (do obvodu), což samozřejmě podmiňuje z vnějšku uzavřený proudový obvod, např. rezistorem proti zemi nebo připojeným operačním zesilovačem.

Rezistorová síť R-2R je v podstatě konstruována stejně jako na obr. 4. Malou změnou bylo však dosaženo úspory dvou rezistorů. Přitom se využívá skutečnosti, že v integrovaném obvodu jsou dva tranzistory (T₈ a T₉ na obr. 16) navzájem propojeny báze a emitory, proto jimi protéká stejný kolektorový proud. Vnutí-li se tomuto zapojení společný emitorový proud (bod označený číslicí 8), rozdělí se na poloviční velikost na kolektorech tranzistorů T₈ a T₉. Pořadím poslední změna proudu v bodě 8 nastane díky oběma jmenovaným tranzistorům, rezistory mohou tedy odpadnout. Popsané uspořádání má přednost v tom, že se v systému integrovaného obvodu ušetří místo (rezistory na čipu zabírají prakticky větší plochu než tranzistory).

Proudové poměry v rezistorové jednotce R-2R jsou určeny proudem tranzistoru T₁₀, který tvoří výstup zesilovače referenčního proudu. Tranzistorové seskupení T₁₀, T₁₁ tvoří proudové zrcadlo, obdobné tomu, které známe u tranzistorů T₈, T₉. Rezistory R₁ v emitorech obou tranzistorů tuto funkci nemění. Slouží k tomu, aby kolektorové proudy byly zcela nezávislé na napětí kolektor-emitor a přitom se zmenšil vliv změn napájecího napětí.

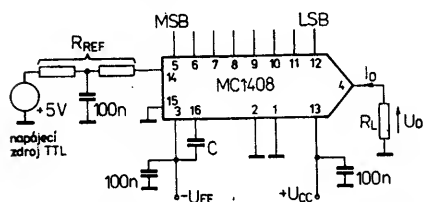
Zesilovač referenčního proudu se skládá z operačního zesilovače a tranzistorů T₁₀, T₁₁. Z vnějšího zdroje referenčního napětí U_{REF} protéká proud přes rezistor R_{REF} do vývodu U_{REF}. V důsledku tohoto uspořádání nařizuje operační zesilovač svůj výstup tak, že se rozdíl vstupního napětí U_{REF} + - U_{REF} - vztahuje proti nule. To tedy znamená, že celkové referenční napětí U_{REF} leží na rezistoru R_{REF}. Vývod U_{REF} + proto musí odebírat proud

$$I_{REF} = U_{REF} / R_{REF} \quad (1).$$

Protože vstupní proud operačního zesilovače je nyní zanedbatelně malý, přejímá kolektor tranzistoru T₁₁ prakticky celý proud I_{REF}. Proud stejné velikosti protéká též kolektorem tranzistoru T₁₀. Na rezistorovou jednotku se přivede proud, který závisí podle vztahu (1) jen na vnějších součástkách. Současně se musí zabezpečit taková omezení, aby se v důsledku reálných vlastností použitých součástek proud v rezistorové jednotce odlišoval od referenčního proudu. Rozhodující jsou proto především chyby v tranzistorovém obvodu T₁₀, T₁₁. Katalogový list převodníku MC1408, MC1508 udává pro vstupní podmínky U_{REF} = 2,000 V a U_{REF} = 1000 Ω maximální výstupní proud 1,9 až 2,1 mA, přičemž typický má být proud 1,99 mA. Teplotní závislost tohoto proudu je velmi malá. Vztaheno na teplotu +25 °C se udává z tep-

lotního součinitele -20 ppm/K chyba u MC1408 v rozsahu $+0,5$ až $-1,0 \%$ (tj. přibližně $\pm 1/4 \text{ LSB}$), u MC1508 v rozsahu $+1,6$ až $-2,0 \%$ (tj. $\pm 1/2 \text{ LSB}$). Teplotní závislost vnějších součástek U_{REF} a R_{REF} není v tom obsažena a musí se v daném případě příslušně respektovat.

Zdroj referenčního napětí se má, pokud jde o stejnosměrné napětí, trvale přemostit kondenzátorem s kapacitou $0,1 \mu\text{F}$. Používat napájecí napětí pro ostatní logické obvody (např. $+5 \text{ V}$) jako referenční napětí není vhodné, protože na toto napětí mohou působit rušivá špičková napětí průchodem zesilovačem referenčního proudu a rezistorovou jednotkou přímo na analogový výstup převodníku D/A. Pokud je nevyhnutelně nutné použít (dobře vyfiltrované) napájecí napětí logických obvodů jako referenční napětí, má být referenční rezistor R_{REF} podle obr. 17 rozdělen do dvou částí a spojovací bod blokován kondenzátorem $0,1 \mu\text{F}$ proti zemi. Touto úpravou se potlačí vliv střídavého napětí ze zesilovače referenčního proudu na referenční napětí.



Obr. 17. Vnější zapojení obvodů MC1408, MC1508 při použití napájecího napětí logických obvodů TTL ($+5 \text{ V}$) jako referenčního napětí

Při referenčních napětích větších než 5 V se doporučuje zapojit mezi vývod U_{REF+} a zem diodu, pólovanou v propustném směru. Vývody napájecího napětí U_{CC} a U_{EE} mají být vždy blokovány proti zemi kvalitním kondenzátorem, jehož kapacita zpravidla postačí $0,1 \mu\text{F}$.

Bude-li analogový výstup (vývod 4) uzavřen vnějším rezistorem R_L proti zemi, bude maximální výstupní napětí dáno vztahem

$$U_{0 \max} = I_{0 \max} \cdot R_L$$

popříp.

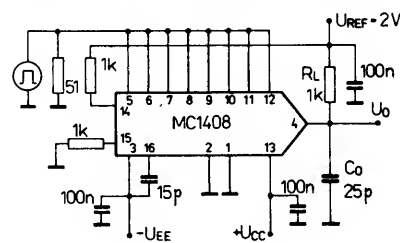
$$U_{0 \max} = \frac{255}{256} \cdot \frac{U_{REF}}{R_{REF}} \cdot R_L$$

Uvedené vztahy platí jen pro rozsah výstupního napětí v daném zapojení podle obr. 16. Převodníky MC1408, MC1508 mají jeden vývod (vývod č. 1) označen RC (output range control) „řízení výstupního rozsahu“. Pomocí tohoto vývodu je možné v určitých hranicích regulovat rozsah výstupního napětí. Funkci vývodu si můžeme vysvětlit na příkladu funkčního skupinového zapojení na obr. 16. Horní hranice je dána napětím $+0,5 \text{ V}$. Určují ji diody D_2 , D_3 , které jsou vodivé nad hraničním napětím $0,5 \text{ V}$ a mohou odebírat značné proudy. Dolní hranice napětí závisí na zapojení vývodu č. 1. Je-li tento vývod spojen se zemí (podle obr. 16), protéká proud I ze zemního potenciálu přes diodu D_1 do zdroje U_{EE} . Na bázi tranzistorů T_1 až T_9 je $-0,6 \text{ V}$. Vycházíme-li z toho, že tranzistory T_1 až T_9 jsou spolehlivé v lineární oblasti jen do napětí kolektor-báze 0 V , udává se dolní hranice vybuzení do $-0,6 \text{ V}$. Tuto hranici je možné rozšířit směrem k záporným

velikostem napětí, ponechá-li se vývod č. 1 volný, tedy nebude-li připojen k zemnímu potenciálu. Proud I protéká nejen diodou D_1 , ale též rezistorem R_2 , na němž vzniká dodatečný úbytek napětí. Potenciál na bázích tranzistorů T_1 až T_9 bude nyní $-(I \cdot R_2 + 0,6 \text{ V})$, takže je možnost vybuzení až do napětí -5 V . Napájecí napětí U_{EE} musí být v tomto případě zápornější než -10 V .

Hranici budicího napětí je možné volit libovolně v napětíovém rozmezí od $-0,5 \text{ V}$ do -5 V , jestliže se přivede na vývod č. 1 regulovatelné napětí 0 až -5 V (vůči zemi).

Pro dobu ustálení t_s je rozhodující zatížení analogového výstupu, popříp. takto podmíněný zdvih výstupního napětí. Způsob zapojení vývodu č. 1 nemá na dobu ustálení žádný vliv. Doba ustálení se měří v zapojení podle obr. 18. Pro nejhorší možné provozní



Obr. 18. Zapojení pro měření doby ustálení převodníků řady MC1408, MC1508

podmínky se udává, jsou-li všechny číslicové vstupy přepnuty z úrovně L do úrovně H. V tomto případě je doba ustálení typicky 300 ns pro $\pm 1/2 \text{ LSB}$ při rozlišení 8 b a 200 ns pro $\pm 1/2 \text{ LSB}$ při rozlišení 7 b . Doba vypnutí je typicky kratší než 100 ns . Uvedené údaje platí při použití převodníku se zatěžovacím odporem do 500Ω a zatěžovací kapacitou 25 pF .

Převodníkové obvody MC1408, MC1508 se napájejí kladným napětím $5,0 \text{ V}$ s tolerancí $\pm 0,5 \text{ V}$ a záporným napětím -15 V , kde platí rozmezí od $-4,5 \text{ V}$ do $-16,5 \text{ V}$. Obě napětí se vztahují vůči vývodu země (GND). K vlastnímu provozu je zapotřebí pouze zdroj referenčního napětí U_{REF} (např. integrovaný obvod REF-01), referenční rezistor R_{REF} a kompenzační kondenzátor C pro referenční zesilovač. Vnější zapojení převodníkového obvodu je vyznačeno na obr. 16 čárkovaně.

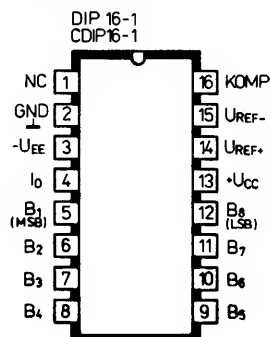
Převodníkové obvody MC1408, MC1508 se mohou používat rovněž jako osmibitové násobiče, které jsou popsány dále. Referenční proud bude v tomto případě kolísat mezi 4 mA a $16 \mu\text{A}$. Monotonní chování převodníku bude průměrné mezi $0,5 \text{ mA}$ a 4 mA . Maximální výstupní proud činí $4,2 \text{ mA}$. Využívat se může pouze tehdy, bude-li napájecí napětí záporné U_{EE} zápornější než -7 V . Musí se však přivést napětí na úbytky napětí na rezistoru R_1 a rezistorové síti R-2R. Má-li se využít plného zdvihu výstupního napětí od $+0,6 \text{ V}$ do -5 V , musí být záporné napájecí napětí U_{EE} nejméně -12 V .

V tabulce 3 je souhrnný přehled převodníkových obvodů řady MC1408, MC1508 několika hlavních výrobců ze základními údaji. Ve sloupci „Z“ je uvedeno zapojení vývodů jednotlivých typů součástek, které jsou na obr. 19 až 21. Funkce vývodů: RC – řízení rozsahu výstupního napětí (jen u některých součástek); GND – zemnicí bod; $-U_{EE}$ – přívod záporného napájecího napětí; $+U_{CC}$

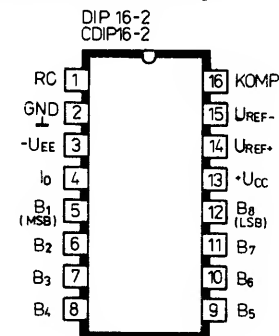
– přívod kladného napájecího napětí; I_0 – analogový proudový výstup; B_1 až B_8 – číslicové vstupy; U_{REF+} – přívod kladného referenčního napětí; U_{REF-} – přívod záporného referenčního napětí; KOMP – kompenzace, připoj vnějšího kompenzačního kondenzátoru 15 až 75 pF (viz obr. 34).

K usnadnění orientace s prací převodníků je uvedeno na obr. 22 funkční skupinové zapojení převodníkových obvodů řady MC1408, MC1508, které platí pro všechny součástky různých výrobců s jediným rozdílem v zapojení vývodu č. 1.

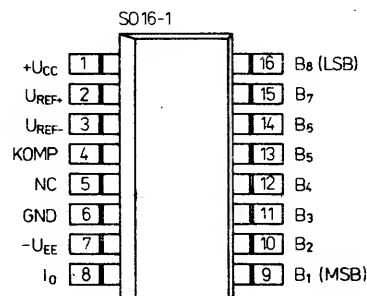
Jedním z prvních výrobců monolitických převodníkových obvodů řady MC1408, MC1508 je firma Motorola. Řada MC1408 má celkem tři podtypy, které se navzájem odlišují jen velikostí relativní přesnosti, MC1508 dovoleným rozsahem teploty okolí, popříp. použitým pouzdrem. Typy MC1408L6, MC1408P6 mají poměrně malou relativní přesnost $\pm 0,78 \%$, proto se používají pro nejméně náročná použití, MC1408L7, MC1408P7 pracují s přesností $\pm 0,39 \%$, MC1408L8, MC1408P8 mají velkou přes-



Obr. 19. Zapojení vývodů DIP16-1 převodníků D/A 8 b DAC1408A, DAC1508A Precision Monolithic, MC1408, MC1408 Philips, AD1408, AD1508 Analog Devices



Obr. 20. Zapojení vývodů DIP16-2 převodníků D/A 8 b MC1408, MC1508 Motorola, SSS1408A, SSS1508A Precision Monolithics, μA0802 Fairchild, DAC-IC8B Datal



Obr. 21. Zapojení vývodů SO16-1 převodníků D/A 8 b MC1408-8D Philips v pouzdru SO-16

Tab. 3. Přehled základních vlastností převodníků D/A řady MC1408, MC1508

Typ	Rozli- šení [b]	Rel. přesnost [±% FS]	Doba ustálení [ns]	Napájecí napětí [V]	Ztrátový výkon [mW]	Teplotní rozsah	Pouzdro	Výrobce	Zapojení vývodů obr. č.	
AD1408-7D	8	0,39	250	+5; -4,5 až -16,5	265	D75	CDIP16	AD	DIP16-1	19
AD1408-8D	8	0,19	250	+5; -4,5 až -16,5	265	D75	CDIP16	AD	DIP16-1	19
AD1408-9D	8	0,10	250	+5; -4,5 až -16,5	265	D75	CDIP16	AD	DIP16-1	19
AD1508-8D	8	0,19	250	+5; -4,5 až -16,5	265	A	CDIP16	AD	DIP16-1	19
AD1508-9D	8	0,10	250	+5; -4,5 až -16,5	265	A	CDIP16	AD	DIP16-1	19
DAC-IC8BC	8	0,19	300	+5; -4,5 až -16,5		D	DIP16	Datel	DIP16-2	20
DAC-IC8BM	8	0,19	300	+5; -4,5 až -16,5		A	CDIP16	Datel	DIP16-2	20
DAC1408A-6P	8	0,78	250	+5; -5 až -15	265	D75	DIP16	PMI	DIP16-1	19
DAC1408A-6Q	8	0,78	250	+5; -5 až -15	265	D75	CDIP16	PMI	DIP16-1	19
DAC1408A-7P	8	0,39	250	+5; -5 až -15	265	D75	DIP16	PMI	DIP16-1	19
DAC1408A-7Q	8	0,39	250	+5; -5 až -15	265	D75	CDIP16	PMI	DIP16-1	19
DAC1408A-8P	8	0,19	250	+5; -5 až -15	265	D75	DIP16	PMI	DIP16-1	19
DAC1408A-8Q	8	0,19	250	+5; -5 až -15	265	D75	CDIP16	PMI	DIP16-1	19
DAC1508A-8Q	8	0,19	250	+5; -5 až -15	265	A	CDIP16	PMI	DIP16-1	19
MC1408-7F	8	0,39	70	+5; -4,5 až -16,5	305	D	CDIP16	P	DIP16-1	19
MC1408-7N	8	0,39	70	+5; -4,5 až -16,5	305	D	DIP16	P	DIP16-1	19
MC1408-8D	8	0,19	70	+5; -4,5 až -16,5	305	D	SO16	P	SO16-1	21
MC1408L6	8	0,78	300	+5; -5 až -15	305	D75	CDIP16	Mo	DIP16-2	20
MC1408L7	8	0,39	300	+5; -5 až -15	305	D75	CDIP16	Mo	DIP16-2	20
MC1408L8	8	0,19	300	+5; -5 až -15	305	D75	CDIP16	Mo	DIP16-2	20
MC1408P6	8	0,78	300	+5; -5 až -15	305	D75	DIP16	Mo	DIP16-2	20
MC1408P7	8	0,39	300	+5; -5 až -15	305	D75	DIP16	Mo	DIP16-2	20
MC1408P8	8	0,19	300	+5; -5 až -15	305	D75	DIP16	Mo	DIP16-2	20
MC1508-8F	8	0,19	70	+5; -4,5 až -16,5	305	A	CDIP16	P	DIP16-1	19
MC1508L8	8	0,19	300	+5; -5 až -15	305	A	CDIP16	Mo	DIP16-2	20
SSS1408A-6P	8	0,78	250	+5; -4,5 až -16,5	265	D75	DIP16	PMI	DIP16-2	20
SSS1408A-6Q	8	0,78	250	+5; -4,5 až -16,5	265	D75	CDIP16	PMI	DIP16-2	20
SSS1408A-7P	8	0,39	250	+5; -4,5 až -16,5	265	D75	DIP16	PMI	DIP16-2	20
SSS1408A-7Q	8	0,39	250	+5; -4,5 až -16,5	265	D75	CDIP16	PMI	DIP16-2	20
SSS1408A-8P	8	0,19	250	+5; -4,5 až -16,5	265	D75	DIP16	PMI	DIP16-2	20
SSS1408A-8Q	8	0,19	250	+5; -4,5 až -16,5	265	D75	CDIP16	PMI	DIP16-2	20
SSS1508A-8Q	8	0,19	250	+5; -4,5 až -16,5	265	A	CDIP16	PMI	DIP16-2	20
μA0802ADC	8	0,19	135	+5; -4,5 až -16,5	305	D	CDIP16	FSC	DIP16-2	20
μA0802APC	8	0,19	135	+5; -4,5 až -16,5	305	D	DIP16	FSC	DIP16-2	20
μA0802BDC	8	0,39	135	+5; -4,5 až -16,5	305	D	CDIP16	FSC	DIP16-2	20
μA0802BPC	8	0,39	135	+5; -4,5 až -16,5	305	D	DIP16	FSC	DIP16-2	20
μA0802CDC	8	0,78	135	+5; -4,5 až -16,5	305	D	CDIP16	FSC	DIP16-2	20
μA0802CPC	8	0,78	135	+5; -4,5 až -16,5	305	D	DIP16	FSC	DIP16-2	20
μA0802DM	8	0,19	135	+5; -4,5 až -16,5	305	A	CDIP16	FSC	DIP16-2	20
μA0802HC	8	0,10	135	+5; -4,5 až -16,5	305	A	CDIP16	FSC	DIP16-2	20

Teplotní rozsah: A – -55 až +125 °C; D – 0 až +70 °C; D75 – 0 až +75 °C

Výrobce: AD – Analog Devices, D – Datel; FSC – Fairchild Semiconductor Corp.; Mo – Motorola; P – Philips Components; PMI – Precision Monolithics Inc.

nost $\pm 0,19\%$, jsou proto určeny pro nejnáročnější zapojení. Rozdíl mezi oběma uvedenými převodníky je v použitém pouzdru. Součástky s písmenem „L“ v typovém značení jsou v keramickém pouzdru, písmeno „P“ udává plastové pouzdro DIP16 s 2× osmi vývody ve dvou řadách. Převodníky mohou pracovat v dovoleném rozsahu provozních teplot od 0 do +75 °C.

V keramickém pouzdru DIP-16 je převodník MC1508L8, který se vyznačuje přesností $\pm 0,19\%$ a možností provozu v širokém rozsahu provozních teplot okolí od -55 do +125 °C. Ve srovnání s jinými výrobky platí u všech popsaných součástek Motorola používání záporného napájecího napětí od -5 V do -15 V. Dalším rozdílem je obsazený vývod č. 1, kterým se může regulovat rozsah výstupního napětí, jak již bylo uvedeno v předchozích odstavcích. Elektrické údaje součástek této řady výroby Motorola jsou obsaženy v tabulce 4.

Druhým, velmi známým výrobcem převodníkových obvodů řady MC1408 je americká firma Precision Monolithic, Inc. Obvody tohoto výrobce jsou označeny odlišným ty-

povým znakem DAC1408A, DAC1508A. Elektrické rozdíly proti součástkám Motorola nejsou velké a jsou patrné z údajů v tabulce 4. Obvody PMI nemají zapojený vývod č. 1, proto o nich neplatí informace o možnosti regulace rozsahu výstupního napětí.

Firma PMI vyráběla do roku 1980 jako vedoucí výrobce speciálních integrovaných obvodů převodníky řady 1408A, 1508A s označením SSS1408A, SSS1508A, u nichž vývod č. 1 byl obsazen jako u součástek Motorola pro řízení výstupního rozsahu. Základní údaje takto označených součástek jsou v tabulce 3. Protože se již nevyrábějí, není nutné uvádět jejich údaje samostatně, možné je převzít obdobně označené údaje součástek Motorola. V plné míře je nahrazují moderní převodníkové obvody řady DAC1408A, DAC1508A.

Holandský multinárodní koncern Philips Components-Signetics-Valvo vyrábí omezenou řadu převodníků 1408 pod označením MC1408. V podstatě se dodávají tři podtypy součástek, které se odlišují přesností a rozsahem dovolené teploty okolí. Novinkou je ovšem typ MC1408-8D, který je

v plastovém pouzdru SO16 se zmenšenými rozměry a dvěma řadami vývodů, rozloženými v rastru 1,27 mm, odstup řad vývodů je 6 mm. Pouzdro je vhodné pro povrchovou montáž SMT a pro montáž do plošných spojů s jemnými vodivými cestami. Elektrické údaje převodníků výroby Philips se od ostatních poněkud odlišují a jsou uvedeny v tabulce 5.

Americký výrobce speciálních integrovaných obvodů Analog Devices vyrábí převodníky řady 1408 ve složení podle tabulky 3. Jsou označeny typovým znakem AD1408, AD1508. Elektrické údaje těchto součástek jsou v podstatě shodné s převodníky DAC1408A. Řada obsahuje součástky AD1408-9D a AD1508-9D, které se vyznačují relativní přesností $\pm 0,1\%$, a které u jiných výrobců nejsou k dispozici. Součástky jsou v keramickém pouzdru DIP 16. Vývod č. 1 není obsazen.

Tab. 4 . Elektrické údaje převodníku D/A 8 b MC1408, MC1508 Motorola, DAC1408A, DAC1508A PMI

Mezní údaje		
Napájecí napětí kladné	$U_{CC} \leq +5,5$	V
Napájecí napětí záporné	$U_{EE} \leq -16,5$	V
Vstupní napětí číselnicové vývody 5 až 12	$U_5 \text{ až } U_{12} = 0 \text{ až } +5,5$	V
Výstupní napětí	$U_O = +0,5 \text{ až } -5,2$	V
Referenční proud	$I_{14 \text{ REF}} \approx 5$	mA
Vstupní napětí referenčního zesilovače		
vývod 14	$U_{14} = U_{CC}, U_{EE}$	V
vývod 15	$U_{15} = U_{CC}, U_{EE}$	V
Rozsah pracovní teploty okolí		
MC1408, DAC1408A	$\theta_a = 0 \text{ až } +75$	°C
MC1508, DAC1508A	$\theta_a = -55 \text{ až } +125$	°C
Rozsah skladovací teploty	$\theta_{stg} = -65 \text{ až } +150$	°C
Charakteristické údaje		
Platí při $U_{CC} = +5 \text{ V}$, $U_{EE} = -15 \text{ V}$, $U_{REF}/R_{14} = 2 \text{ mA}$, všechny číselnicové vstupy v logické úrovni H.		
MC1408, DAC1408A: $\theta_a = 0 \text{ až } +75 \text{ °C}$		
MC1508, DAC1508A: $\theta_a = -55 \text{ až } +125 \text{ °C}$, není-li uvedeno jinak.		
Relativní přesnost (relativní chyba vůči plné stupnici I_O)		
MC1508LS, MC1408LS, MC1408PS, DAC1408A-8, DAC1508A-8	$E_r \approx \pm 0,19$	%
MC1408L7, MC1408P7, DAC1408A-7	$E_r \approx \pm 0,39$	%
MC1408L6, MC1408P6, DAC1408A-6	$E_r \approx \pm 0,78$	%
Doba ustálení všechny bity sepnuty, $\theta_a = +25 \text{ °C}$, na $\pm 1/2 \text{ LSB}$ včetně t_{PLH}		
DAC1408A, DAC1508A	$t_s = \text{jmen. } 300$	ns
	$t_s = \text{jmen. } 250$	ns
Doba zpoždění průchodu signálu $\theta_a = +25 \text{ °C}$		
	$t_{PLH} = \text{jmen. } 30; \leq 100$	ns
	$t_{PHL} = \text{jmen. } 30; \leq 100$	ns
Teplotná závislost výstupního proudu pro plnou stupnici		
	$TK_{IO} = \text{jmen. } \pm 20$	ppm/K
Číselnicové vstupní logické úrovně (MSB)		
úroveň H - log. 1	$U_{IH} \approx 2,0$	V
úroveň L - log. 0	$U_{IL} \approx 0,8$	V
Číselnicový vstupní proud		
úroveň H, $U_{IH} = 5 \text{ V}$	$I_{IH} = \text{jmen. } 0; \leq 0,04$	mA
úroveň L, $U_{IL} = 0,8 \text{ V}$	$I_{IL} = \text{jmen. } -0,4; \leq -0,8$	mA
Proud referenčního vstupu		
vývod 15	$I_{15} = \text{jmen. } -1; \leq -5$	μA
DAC1408A	$I_{15} = \text{jmen. } -1; \leq -3$	μA
Rozsah výstupního proudu		
$U_{EE} = -5 \text{ V}$	$I_{OR} = \text{jmen. } 2; 0 \text{ až } 2,1$	mA
$U_{EE} = -15 \text{ V}$, $\theta_a = 25 \text{ °C}$	$I_{OR} = \text{jmen. } 2; 0 \text{ až } 4,2$	mA
Výstupní proud		
$U_{REF} = 2,000 \text{ V}$, $R_{14} = 1 \text{ k}\Omega$	$I_O = \text{jmen. } 1,99; 1,9 \text{ až } 2,1$	mA
Výstupní proud		
všechny bity v úrovni L	$I_{O \text{ min}} = \text{jmen. } 0; \leq 4$	μA
Pružnost výstupního napětí		
$E_r \leq 0,15 \%$, $\theta_a = +25 \text{ °C}$		
vývod 1 uzemněn	$U_O \approx -0,55 \text{ až } +0,4$	V
vývod 1 volný, $U_{EE} \leq -10 \text{ V}$	$U_O \approx -5,0 \text{ až } +0,4$	V
vývod 1 volný, $U_{EE} \leq -5 \text{ V}$, DAC1408A	$U_O \approx -0,6 \text{ až } +0,5$	V
Rychlost přechodu referenčního proudu		
	$SRI_{REF} = \text{jmen. } 4$	mA/μs
Citlivost výstupního proudu na změnu napájecího napětí (záporného)		
	$PSRR = \text{jmen. } 0,5; \leq 2,7$	μA/V
Spotřeba napájecího proudu		
všechny bity v úrovni L		
z kladného zdroje	$I_{CC} = \text{jmen. } +13,5; \leq +22$	mA
DAC1408A	$I_{CC} = \text{jmen. } +9; \leq +14$	mA
ze záporného zdroje	$I_{EE} = \text{jmen. } -7,5; \leq -13$	mA

Rozsah napájecího napětí

$\theta_a = +25 \text{ °C}$

kladného napětí

záporného napětí

Útrátový výkon celkový

všechny bity v úrovni L:

$U_{EE} = -5 \text{ V}$

$U_{EE} = -5 \text{ V}$, DAC1408A

$U_{EE} = -15 \text{ V}$

$U_{EE} = -15 \text{ V}$, DAC1408A

všechny bity v úrovni H:

$U_{EE} = -5 \text{ V}$

$U_{EE} = -5 \text{ V}$, DAC1408A

$U_{EE} = -15 \text{ V}$

$U_{EE} = -15 \text{ V}$, DAC1408A

$U_{CC} = \text{jmen. } +5,0; +4,5 \text{ až } +5,5 \text{ V}$

$U_{EE} = \text{jmen. } -15; -4,5 \text{ až } +16,5 \text{ V}$

$P_{tot} = \text{jmen. } 105; \approx 170$

mW

$P_{tot} = \text{jmen. } 82; \approx 135$

mW

$F_{tot} = \text{jmen. } 190; \approx 305$

mW

$P_{tot} = \text{jmen. } 157; \approx 265$

mW

$P_{tot} = \text{jmen. } 90$

mW

$P_{tot} = \text{jmen. } 70$

mW

$P_{tot} = \text{jmen. } 160$

mW

$P_{tot} = \text{jmen. } 132$

mW

Tab. 5 . Elektrické údaje převodníku D/A 8 b MC1408, MC1508 Philips

Mezní údaje		
Platí při $\theta_a = +25 \text{ °C}$, není-li uvedeno jinak.		
Napájecí napětí kladné	$U_{CC} \leq +5,5$	V
Napájecí napětí záporné	$U_{EE} \leq -16,5$	V
Vstupní napětí číselnicové vývody 5 až 12	$U_5 \text{ až } U_{12} = 0 \text{ až } U_{CC}$	V
Výstupní napětí	$U_O = -5,2 \text{ až } +18$	V
Vstupní referenční proud	$I_{14 \text{ REF}} \approx 5$	mA
Vstupní napětí referenčního zesilovače		
vstup 14	$U_{14} = U_{EE} \text{ až } U_{CC}$	V
vstup 15	$U_{15} = U_{EE} \text{ až } U_{CC}$	V
Útrátový výkon celkový		
MC1408-7F, MC1508-8F	$P_{tot} \approx 1190$	mW
MC1408-7N	$P_{tot} \approx 1450$	mW
MC1408-8D	$P_{tot} \approx 1080$	mW
Snížení útrátového výkonu při $\theta_a \approx 25 \text{ °C}$		
MC1408-7F, MC1508-8F	$\alpha = \text{jmen. } 9,5$	W/K
MC1408-7N	$\alpha = \text{jmen. } 11,6$	W/K
MC1408-8D	$\alpha = \text{jmen. } 8,6$	W/K
Rozsah provozní teploty okolí		
MC1408	$\theta_a = 0 \text{ až } +75$	°C
MC1508	$\theta_a = -55 \text{ až } +125$	°C
Rozsah skladovací teploty		
	$\theta_{stg} = -65 \text{ až } +150$	°C
Doba pájení vývodů ($t = 10 \text{ s}$)		
	$\theta_L \leq 300$	°C
Charakteristické údaje		
Platí při $U_{CC} = +5 \text{ V}$, $U_{EE} = -15 \text{ V}$, $U_{REF}/R_{14} = 2,0 \text{ mA}$, není-li uvedeno jinak; všechny bity sepnuty, vývod 3 musí být o 3 V zápornější než potenciál na rezistoru R_{15} .		
MC1408: $\theta_a = 0 \text{ až } +75 \text{ °C}$, MC1508: $\theta_a = -55 \text{ až } +125 \text{ °C}$, není-li uvedeno jinak.		
Relativní přesnost (relativní chyba při plné stupnici I_O)		
MC1408-8, MC1508-8	$E_r \leq \pm 0,19$	%
MC1408-7	$E_r \leq \pm 0,39$	%
Doba ustálení na $1/2 \text{ LSB}$ včetně t_{PLH} , všechny bity sepnuty		
$\theta_a = +25 \text{ °C}$	$t_s = \text{jmen. } 70$	ns
Doba zpoždění signálu $\theta_a = +25 \text{ °C}$		
z úrovně L do H	$t_{PLH} = \text{jmen. } 35; \leq 100$	ns
z úrovně H do L	$t_{PHL} = \text{jmen. } 35; \leq 100$	ns
Teplotná závislost výstupního proudu pro plnou stupnici		
	$TK_{IO} = \text{jmen. } -20$	ppm/K
Logická úroveň číselnicových vstupů (MSB)		
úroveň H	$U_{IH} \approx 2,0$	V
úroveň L	$U_{IL} \approx 0,8$	V
Vstupní proud číselnicových vstupů		
úroveň H, $U_{IH} = 5 \text{ V}$	$I_{IH} = \text{jmen. } 0; \leq 0,04$	mA
úroveň L, $U_{IL} = 0,8 \text{ V}$	$I_{IL} = \text{jmen. } -0,4; \leq 0,8$	mA

Proud referenčního vstupu vývod 15	$I_{15} = \text{jmen. } -1; \leq -5$	μA
Rozsah výstupního proudu	$I_{OR} = \text{jmen. } 2,0; 0 \text{ až } 2,1$	mA
$U_{EE} = -5 \text{ V}$	$I_{OR} = \text{jmen. } 2,0; 0 \text{ až } 4,2$	mA
$U_{EE} = -7 \text{ až } -15 \text{ V}$		
Výstupní proud	$I_O = \text{jmen. } 1,99; 1,9 \text{ až } 2,1$	mA
$U_{REF} = 2,000 \text{ V}, R_{14} = 1000 \Omega$		
Výstupní proud minimální	$I_{O \min} = \text{jmen. } 0; \leq 4$	μA
všechny bity v úrovni L		
$U_{REF} = 2,000 \text{ V}, R_{14} = 1000 \Omega$		
Pružnost výstupního napětí	$-U_O = \text{jmen. } 0,6; \leq 0,55$	V
$E_r \leq 0,19 \%, \Delta_a = +25^\circ\text{C}$	$+U_O = \text{jmen. } 10; \leq 0,5$	V
$U_{EE} = -5 \text{ V}$	$-U_O = \text{jmen. } 5,5; \leq 5,0$	V
$U_{EE} = -5 \text{ V}$	$+U_O = \text{jmen. } 10; \leq 0,5$	V
$U_{EE} = -10 \text{ V}$		
$U_{EE} = -10 \text{ V}$		
Rychlost přechodu referenčního proudu	$SRI_{REF} = \text{jmen. } 8$	$\text{mA}/\mu\text{s}$
Citlivost výstupního proudu na změnu napájecího napětí (-)	$PSRR = \text{jmen. } 0,5; \leq 2,7$	$\mu\text{A}/\text{V}$
$I_{REF} = 1 \text{ mA}$		
Spotřeba napájecího proudu	$I_{CC} = \text{jmen. } 2,5; \leq 22$	mA
všechny bity v úrovni L	$I_{EE} = \text{jmen. } -6,5; \leq -13$	mA
z kladného zdroje		
ze záporného zdroje		
Rozsah napájecího napětí	$U_{CC} = \text{jmen. } 5; 4,5 \text{ až } 5,5$	V
$\Delta_a = +25^\circ\text{C}$	$U_{EE} = \text{jmen. } -15; -4,5 \text{ až } -16,5$	V
kladného napětí		
záporného napětí		
Ztrátový výkon	$P = \text{jmen. } 34; \leq 170$	mW
všechny bity v úrovni L	$P = \text{jmen. } 110; \leq 305$	mW
$U_{EE} = -5 \text{ V}$		
$U_{EE} = -15 \text{ V}$		

Tab. 6. Elektrické údaje převodníku D/A 8 b řady $\mu\text{A}0802$ Fairchild

Mezní údaje		
Platí při $\Delta_a = +25^\circ\text{C}$, není-li uvedeno jinak.		
Napájecí napětí kladné	$+U_{CC} \leq 5,5$	V
Napájecí napětí záporné	$-U_{EE} \leq 16,5$	V
Vstupní napětí číselicové	$+U_I \leq 5,5$	V
vývody 5 až 12	$U_O = +0,5 \text{ až } -5,2$	V
Výstupní napětí		
Proud referenčního vstupu	$I_{14 \text{ REF}} \leq 5$	mA
vývod 14		
Vstupní napětí referenčního zesilovače	$U_{14} = +5,5 \text{ až } -16,5$	V
vývod 14	$U_{15} = +5,5 \text{ až } -16,5$	V
vývod 15		
Rozsah provozní teploty okolí	$\Delta_a = -55 \text{ až } +125$	$^\circ\text{C}$
$\mu\text{A}0802$	$\Delta_a = 0 \text{ až } +70$	$^\circ\text{C}$
$\mu\text{A}0802\text{A}, \mu\text{A}0802\text{B}, \mu\text{A}0802\text{C}$		
Teplota vývodů při pájení	$\Delta_L \leq 300$	$^\circ\text{C}$
$t \leq 10 \text{ s}$	$\Delta_L \leq 260$	$^\circ\text{C}$
keramické pouzdro		
plastové pouzdro		
Charakteristické údaje		
Platí při $U_{CC} = +5 \text{ V}, U_{EE} = -15 \text{ V}, U_{REF}/R_{14} = 2 \text{ mA}$, všechny číselicové vstupy v logické úrovni H.		
$\mu\text{A}0802: \Delta_a = -55 \text{ až } +125^\circ\text{C}; \mu\text{A}0802\text{A}, \mu\text{A}0802\text{B}, \mu\text{A}0802\text{C}: \Delta_a = 0 \text{ až } 70^\circ\text{C}$, není-li uvedeno jinak.		
Relativní přesnost		
relativní chyba vztahovaná k plné stupnici I_O	$E_r \leq \pm 0,1$	$\%$
$\mu\text{A}0802\text{HC}$	$E_r \leq \pm 0,19$	$\%$
$\mu\text{A}0802\text{L}, \mu\text{A}0802\text{ADC}, \text{APC}$	$E_r \leq \pm 0,39$	$\%$
$\mu\text{A}0802\text{EDC}, \mu\text{A}0802\text{FEC}$	$E_r \leq \pm 0,78$	$\%$
$\mu\text{A}0802\text{CDC}, \mu\text{A}0802\text{CFS}$		
Doba ustálení	$t_S = \text{jmen. } 85; \leq 135$	ns
na 1/2 LSP včetně t_{PLH}		
$\Delta_a = +25^\circ\text{C}$		

Doba zpoždění průchodu signálu	$\Delta_a = +25^\circ\text{C}$	
z úrovně L do H	$t_{PLH} = \text{jmen. } 30; \leq 100$	ns
z úrovně H do L	$t_{PHL} = \text{jmen. } 30; \leq 100$	ns
Teplotná závislost výstupního proudu pro plnou stupnici	$TKI_O = \text{jmen. } \pm 20$	$\text{ppm}/^\circ\text{C}$
Vstupní napětí číselicových vstupů	$U_{IH} \geq 2,0$	V
úroveň H, log. 1	$U_{IL} \leq 0,8$	V
úroveň L, log. 0	$I_{IH} = \text{jmen. } 0; \leq 0,04$	mA
Vstupní proud číselicových vstupů	$I_{IL} = \text{jmen. } -0,4; \leq -0,8$	mA
úroveň H, $U_{IH} = 5 \text{ V}$		
úroveň L, $U_{IL} = 0,8 \text{ V}$		
Proud vstupu referenčního zesilovače, vývod 15	$I_{15} = \text{jmen. } -1; \leq -5$	μA
Rozsah výstupního proudu	$I_{OR} = \text{jmen. } 2,0; 0 \text{ až } 2,1$	mA
$U_{EE} = -5 \text{ V}$	$I_{OR} = \text{jmen. } 2,0; 0 \text{ až } 4,2$	mA
$U_{EE} = -6 \text{ až } -15 \text{ V}$		
Výstupní proud	$I_O = \text{jmen. } 1,99; 1,9 \text{ až } 2,1$	mA
$U_{REF} = 2,000 \text{ V}, R_{14} = 1000 \Omega$		
Výstupní proud minimální	$I_{O \min} = \text{jmen. } 0; \leq 4$	μA
všechny bity v úrovni L		
Pružnost výstupního napětí	$U_O = -0,55 \text{ až } +0,4$	V
$E_r \leq 0,19 \%, \Delta_a = +25^\circ\text{C}$	$U_O = -5 \text{ až } +0,5$	V
$U_{EE} = -5 \text{ V}$		
$U_{EE} = -10 \text{ V}$		
Rychlost přechodu referenčního proudu	$SRI_{REF} = \text{jmen. } 4$	$\text{mA}/\mu\text{s}$
Vliv změny napájecího napětí	$PSRR = \text{jmen. } 0,5; \leq 2,7$	$\mu\text{A}/\text{V}$
záporného na výstupní proud		
Spotřeba napájecího proudu	$+I_{CC} = \text{jmen. } 13,5; \leq 22$	mA
všechny bity v úrovni L	$-I_{EE} = \text{jmen. } 7,5; \leq 13$	mA
z kladného zdroje		
ze záporného zdroje		
Rozsah napájecího napětí	$+U_{CC} = \text{jmen. } 5,0; 4,5 \text{ až } 5,5$	V
$\Delta_a = +25^\circ\text{C}$	$-U_{EE} = \text{jmen. } 15; 4,5 \text{ až } 16,5$	V
kladného		
záporného		
Ztrátový výkon	$P = \text{jmen. } 105; \leq 170$	mW
všechny bity v úrovni L	$P = \text{jmen. } 190; \leq 305$	mW
$U_{EE} = -5 \text{ V}$		
$U_{EE} = -15 \text{ V}$		
všechny bity v úrovni H	$P = \text{jmen. } 90$	mW
$U_{EE} = -5 \text{ V}$	$P = \text{jmen. } 160$	mW
$U_{EE} = -15 \text{ V}$		

Tab. 7. Elektrické údaje převodníku D/A 8 b DAC-IC80C, DAC-IC80M firmy Datal

Mezní údaje		
Napájecí napětí kladné	$+U_{CC} \leq 5,5$	V
Napájecí napětí záporné	$-U_{CC} \leq 16,5$	V
Vstupní napětí číselicových vstupů	$+U_I \leq 5,5$	V
vývody 5 až 12	$I_{14 \text{ REF}} \leq 5$	mA
Proud referenčního vstupu		
vývod 14		
Vstupní napětí referenčního zesilovače	$U_{14} = +U_{CC}; -U_{EE}$	V
vývod 14	$U_{15} = +U_{CC}; -U_{EE}$	V
vývod 15	$P_{\text{tot}} \leq 1$	W
Ztrátový výkon celkový		
Rozsah provozní teploty okolí	$\Delta_a = 0 \text{ až } +70$	$^\circ\text{C}$
DAC-IC80C	$\Delta_a = -55 \text{ až } +125$	$^\circ\text{C}$
DAC-IC80M	$\Delta_{\text{stg}} = -65 \text{ až } +125$	$^\circ\text{C}$
Rozsah skladovací teploty		
Charakteristické údaje		
Platí při $\Delta_a = +25^\circ\text{C}, U_{CC} = +5 \text{ V}, U_{EE} = -15 \text{ V}, I_{REF} = 2 \text{ mA}$, není-li uvedeno jinak.		
Relativní přesnost	$\leq \pm 1/2 \text{ LSB}$	
$\pm 0,19 \%$		
Nonlinearita	$\leq \pm 1/2 \text{ LSP}$	
$\pm 0,19 \%$		

Diferenční nelinearita	$\pm 0,19 \%$	$=$ jmen. $\pm 1/2$ LSP		Rozsah výstupního proudu	I_{O-} = 0 až 2,1 mA	
Teplotní součinitel zisku	TKA	= jmen. -20	opm/K	I_{O+} = 0 až 4,2 mA		
Vliv změny záporného napájecího napětí na výstupní proud	PSRR- \leq	2,7	$\mu A/V$	Výstupní proud	I_O = 4 μA	
Doba ustálení	t_S	= jmen. 300	ns	všechny bity vypnuty		
Rychlost převodu	f	= jmen. 3,3	MHz	Fruznost výstupního napětí	U_O = -0,6 až +0,5 V	
Rychlost přeběhu referenčního proudu	I_{REF}	= jmen. 4	mA/ μs	vývod 1 uzemněn	U_O = -5,0 až +0,5 V	
Vstupní napětí číslicových vstupů	U_{IH}	= 2,0 až 5,5 V		vývod 1 otevřen, $U_{EE} \leq -10$ V		
úroveň H, I_{IH} = 40 μA	U_{IL}	= 0 až 0,8 V		Rozsah napájecího napětí	U_{CC} = jmen. +5; +4,5 až +5,5 V	
úroveň L, I_{IL} = -0,8 mA	I_{REF}	= jmen. 2; 0 až 4,2 mA		klaňného	U_{EE} = jmen. -15; -4,5 až -16,5 V	
Proud referenčního vstupu	I_{REF}	= -3 μA		záporného		
Pracovní proud referenčního vstupu				Spotřeba napájecího proudu	I_{CC+} = 22 mA	
Výstupní proud	I_O	= jmen. 2; 1,5 až 2,1 mA		z klaňného zdroje	I_{EE-} = 13 mA	
I_{REF} = 2 mA				ze záporného zdroje		

Obr. 22. Funkční skupinové zapojení převodníků D/A 8 b řady MC1408, MC1508

Obr. 23. Převodník D/A řady MC1408 s kladným referenčním a záporným výstupním napětím

Zatěžovací rezistor na analogovém výstupu (vývod č. 4) slouží k transformaci proudu a napětí. Typické výstupní napětí U_o v tomto zapojení je 4,98 V. Měli se dosáhnout velmi přesné konečné velikosti výstupního napětí, musí se použít referenční rezistor R_{14} s regulovatelným odporem (trimr). Napětí U_o je proti zemi záporné. Určuje se podle vztahu

Zatížení výstupu zatěžovacím rezistorem s odporem větším než 500 Ω prodlouží dobu ustálení. V katalogových listech převodníků se uvádí doba ustálení 1,2 μ s při odporu 2,5 k Ω .

Často není výhodné záporné výstupní napětí převodníku D/A. Tuto nevýhodu může odstranit připojený operační zesilovač (podle obr. 24) tak, že vstupní rozdílové napětí

Obr. 24. Převodník D/A řady MC1408 s kladným referenčním a kladným výstupním napětím

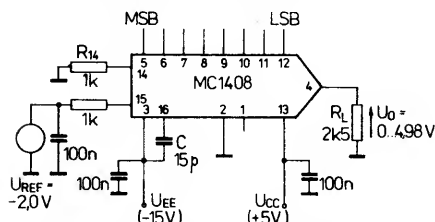
Rezistor 2,5 k Ω , připojený k neinvertujícímu vstupu operačního zesilovače, kompenzuje známým způsobem vliv klidového proudu na přesnost. Protože výstupní potenciál převodníku (vývod 4) zůstává v tomto případě na potenciálu země, je obvod poměrně rychlý. Doba ustálení systému je určena strmostí náběžné hrany výstupního zesilovače. Experimentálně se prokázalo, že se doba ustálení zkrátí, bude-li vývod č. 1 připojen na nulový potenciál (pouze u součástek, které vývod č. 1 mají obsazen). Případné zákrmy na výstupu jsou zpravidla zavěněny nevhodnou konstrukcí převodníkového systému. Zákrmy se mohou potlačit kondenzátorem s malou kapacitou, připojeným paralelně k zatěžovacímu rezistoru (na obr. 24 je kondenzátor zakreslen čárkovaně). Výsledkem je ovšem též prodloužení doby ustálení systému převodníku.

V některých případech se vyžaduje převod číselového slova na analogový signál s kladnou nebo zápornou hodnotou. V tomto případě je vstup B₇ bitem známka. Chceme-li tuto informaci převést bipolárně, použijeme doporučené zapojení podle obr. 26, které je upravenou verzí předchozího zapojení. Rezistorem 2 k Ω se navíc přivádí offsetové napětí -2,5 V na výstup operačního

Obr. 25. Převodník D/A řady MC1408 s kladným referenčním a bipolárním výstupním napětím

Převodník D/A se záporným referenčním napětím.

Velmi často je k dispozici pouze jedno záporné napětí jako referenční napětí. V tomto případě je přivádíme přes rezistor na vstup (vývod 15) zesilovače referenčního proudu, U_{REF1} , jak je to znázorněno v zapojení



Obr. 26. Převodník D/A řady MC1408 se záporným referenčním a záporným výstupním napětím

ní na obr. 26. Referenční rezistor je jako dříve připojen na vývod 14, druhým koncem musí se spojit se zemí. Rozdílový vstup zesilovače referenčního proudu (vývody 14 a 15) bude mít záporný potenciál velikosti jako referenční napětí (v našem zapojení bude mít napětí $-2V$). To znamená, že referenční proud nyní protéká ze zemního potenciálu přes rezistor $1k\Omega$ do vývodu 14 V. V předřadném rezistoru ve vývodu 15 protéká pouze vstupní klidový proud zesilovače referenčního proudu. Zdroj referenčního napětí pracuje v tomto případě na velmi velkém vstupním odporu, což je v mnoha případech velmi žádané. Důležité však je, aby záporné referenční napětí bylo kladnější nejméně o $3V$ než záporné napájecí napětí U_{EE} . Jinak by nebyla zaručena funkce zesilovače referenčního proudu.

Kompensace zesilovače referenčního proudu je nezávislá na polaritě referenčního napětí. Závisí pouze na odporu rezistoru, připojeného k vývodu 14. V této souvislosti je nutné připomenout, že proud vývodu 14 musí vždy protékat směrem do integrovaného obvodu. Práce se zápornými referenčními proudy není možná. Obdobně to platí pro všechny bipolární převodníky D/A.

Násobení

Obvody řady MC1408, MC1508 se mohou rovněž používat se dvěma zdroji referenčního napětí v zapojení podle obr. 27. Jak je možné odvodit z již popsaných příkladů zapojení, je pro referenční proud rozhodující rozdíl obou napětí podle vztahu

$$I_{REF} = \frac{U_{REF1} - U_{REF2}}{R_{REF}} \quad (5).$$

Protože referenční proud nesmí být záporný, platí podmínka

$$U_{REF1} \geq U_{REF2}.$$

Napětí U_{REF2} musí být z již dříve uvedených důvodů nejméně o $3V$ kladnější než záporné napětí U_{EE} .

Předností zapojení na obr. 27 je možnost zpracovávat bipolární referenční napětí, tedy i napětí střídavé. Při zachování podmínky vztažených ke znaménku referenčního proudu dostaneme dvě možnosti:

1. Zvolit pro U_{REF1} kladné napětí velikosti, která se rovná maximální amplitudě střídavého napětí $U_{REF2}(t)$.
2. Zvolit pro U_{REF2} záporné napětí velikosti, která se rovná maximální amplitudě střídavého napětí $U_{REF1}(t)$.

V případě 1 platí analogicky se vztahem (5)

$$I_{REF}(t) = \frac{U_{REF1} - U_{REF2}(t)}{R_{REF}} \quad (6),$$

kde $U_{REF2}(t)$ je v kladném maximumu rovno U_{REF1} , v záporném maximumu je rovno $-U_{REF1}$. V důsledku toho se pohybuje referenční proud v následujících mezích

$$0 \leq I_{REF}(t) \leq \frac{2U_{REF1}}{R_{REF}} \quad (7).$$

Tím je požadovaná vstupní podmínka splněna vzhledem k polaritě referenčního proudu. Rozbor případu 2 vede ke stejné hranici referenčního proudu. Obě obvodové varianty se odlišují pouze ve vstupním odporu pro zdroj střídavého napětí a v poloze fáze výstupního signálu. Případ 1 je s malou impedancí (vstupní odpor odpovídá R_{REF}) a neinvertuje vstupní signál $U_{REF}(t)$. Kladné maximum napětí U_{REF2} vede podle vztahu (6) k nulovému referenčnímu proudu a tím k výstupnímu napětí $0V$, které odpovídá kladnému maximumu.

Případ 2 je naproti tomu s velkou impedancí a invertuje vstupní signál.

Uvedeným způsobem je možné přenášet převodníkem střídavé napětí, jejichž kmitočet směrem nahoru je omezen jen náběhovou strmostí zesilovače referenčního proudu ($4mA/\mu s$). Amplituda na výstupu může být ovlivněna pouze přivedeným číslicovým slovem na vstupu.

Bude-li číslicové slovo na vstupech B_8 až B_1 v dekadickém tvaru, bude platit

$$I_0 = I_{REF} \frac{N}{256} \quad (8),$$

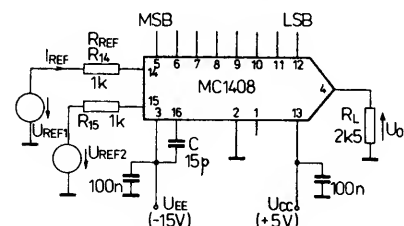
kde za N můžeme zvolit hodnotu od 0 do 255. Pomocí vztahu (1) dostaneme

$$I_0 = \frac{N \cdot U_{REF}}{256 \cdot R_{REF}} \quad (9),$$

a napětí

$$U_0 = \frac{R_L}{256 \cdot R_{REF}} \cdot N \cdot U_{REF} \quad (10).$$

Poslední rovnice stanoví, že výstupní napětí U_0 je výsledkem digitálního čísla N a referenčního napětí U_{REF} . Platí jen pro kladná napětí U_{REF} , v zapojení podle obr. 27 je však možné zpracovávat i bipolární napětí. Za



Obr. 27. Převodník D/A řady MC1408 se dvěma kladnými referenčními napětími a záporným výstupním napětím

předpokladu, že U_{REF1} je stejnosměrné napětí a $U_{REF2}(t)$ napětí střídavé, je možné ze vztahu (10) určit

$$U_0(t) = \frac{R_L}{256 \cdot R_{REF}} (U_{REF1} - U_{REF2}(t)) \cdot N \quad (11).$$

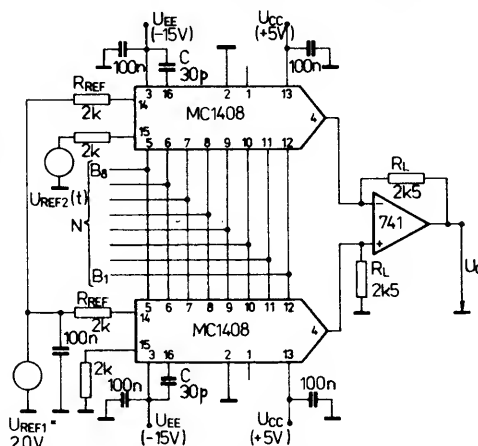
Zapojení podle obr. 27 může proto násobit střídavé napětí $U_{REF2}(t)$ s binárním číslem N . Podle okolností je nevýhodné, že mimo střídavou složku, definovanou podle vztahu

$$\frac{R_L \cdot U_{REF2}(t) \cdot N}{256 \cdot R_{REF}} \quad (12)$$

vzniká ještě i stejnosměrná složka

$$\frac{R_L \cdot U_{REF1} \cdot N}{256 \cdot R_{REF}} \quad (13),$$

která se mění s binárním číslem N . Tuto složku můžeme potlačit tak, že druhým převodníkem D/A stejného typu vytvoříme opět



Obr. 28. Dva převodníkové obvody D/A MC1408 v zapojení jako dvoukvadrantový násobička

další stejnosměrnou složku s opačným znaménkem, celkovou funkci je odečteme, takže nakonec zbude pouze střídavá složka. Popsané zapojení nazýváme dvoukvadrantový násobič. Jeho elektrické zapojení je uvedeno na obr. 28.

Horní převodník na obr. 28 vytváří výstupní signál odpovídající (11), dolní převodník signál, odpovídající vztahu (13), takže bude platit

$$\frac{R_L \cdot U_{REF1} \cdot N}{256 \cdot R_{REF}}$$

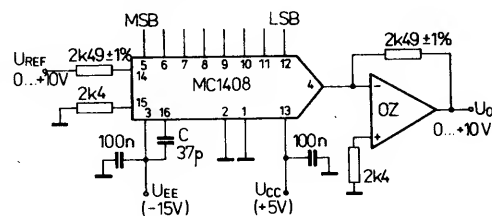
Na výstupu operačního zesilovače bude k dispozici rozdíl obou vztahů, tedy

$$U_0(t) = - \frac{R_L}{256 \cdot R_{REF}} U_{REF2}(t) \cdot N \quad (14).$$

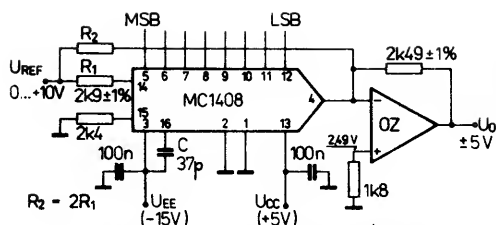
Tento vztah obsahuje pouze střídavé složky napětí. Znaménko $-$ (minus) znamená, že při přenosu následuje otočení fáze.

Jedno a dvoukvadrantový násobič převodník D/A

Na obr. 29 a 30 jsou uvedeny další příklady použití převodníkových obvodů MC1408 jako jedno a dvoukvadrantový násobič převodník. Kladné referenční napětí 0 až $-10V$ se přivádí na vývod 14 přes sériový rezistor $2,5k\Omega$. Vstupní referenční napětí, avšak záporné, může se přivést případně na vývod 15 při velké vstupní impedanci. U dvoukvadrantového násobičového převodníku je vstupní



Obr. 29. Zapojení jednoduchého jednokvadrantového násobičového převodníku D/A s obvodem MC1408 s výstupním napětím od 0 do 10 V

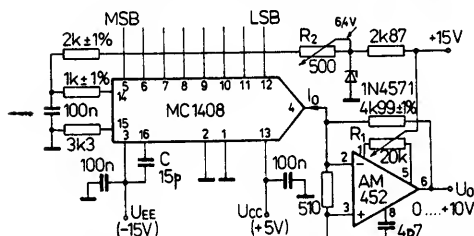


Obr. 30. Zapojení jednoduchého dvoukvadrantového násobícího převodníku D/A s obvodem MC1408 s bipolárním výstupním napětím ± 5 V

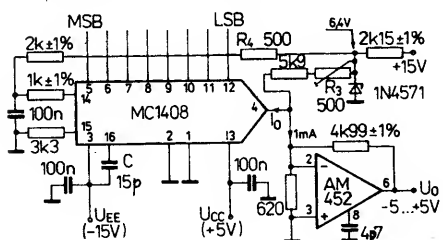
napětí U_{REF} unipolární, číslicový vstup je bipolární s ofsetovým binárním kódováním. Výstupní napětí je pak bipolární proměnné v rozsahu ± 5 V. V násobícím zapojení se doporučuje, aby při plném rozsahu byl referenční proud R_{REF} max. 4 mA. Výstup je pak monotónní s proměnným referenčním proudem 0,5 až 4 mA.

Převodník s rychlým unipolárním a bipolárním napěťovým výstupem

Požaduje-li se velmi krátká doba ustálení převodníku v jakomkoli unipolárním nebo bipolárním provozu, doporučuje se použít ve spojení s převodníkem MC1408 velmi rychlý monolitický operační zesilovač (např. AM452 výrobce Datal) se šířkou přenášeného pásma 20 MHz, dobou ustálení 200 ns a vstupním odporem 100 M Ω . Praktické zapojení rychlých převodníků je na obr. 31



Obr. 31. Velmi rychlý převodník D/A s obvodem MC1408 s unipolárním výstupním napětím 0 až +10 V a dobou ustálení průměrně 600 ns na 1 LSB. Trimr R_1 slouží k nastavení nuly, R_2 k nastavení plného rozsahu



Obr. 32. Velmi rychlý převodník D/A s obvodem MC1408 s výstupním napětím v rozsahu -5 V až +5 V a dobou ustálení průměrně 600 ns na 1 LSB. Trimr R_3 slouží k nastavení nesymetrie, R_4 k nastavení zisku

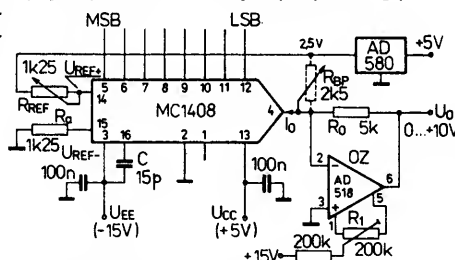
a 32. Obě zapojení se zavedeným způsobem kompenzace mají dobu ustálení výstupu průměrně 600 ns pro změnu napětí 10 V na 1 LSB. Platí to pro nejhorší případ doby ustálení, kdy na všechny vstupy převodníku se přivede signál s úrovní H. Při proudovém výstupu a zatěžovacím odporu menším než 500 Ω činí doba ustálení asi polovinu – průměrně 300 ns. Jestliže se přivede na všechny vstupy signál s úrovní L, je doba ustálení kratší – průměrně 100 ns. Zapojení na obou obrázcích ukazují jednoduchou metodu odvození referenčního a ofsetového proudu z přesného stabilizovaného zdroje napětí 6,4 V se Zenerovou diodou 1N4571 s napětím 6,4 V.

K vyvažování obvodů s převodníky se používají kódovací tabulky. Nejdříve se však musí vybrat žádaný výstupní rozsah pomocí zpětnovazebního odporu vnějšího operačního zesilovače a vnějšího programovatelného referenčního proudu. Nula a ofsetový proud operačního zesilovače se nastavují podle druhu provozu. Při unipolárním provozu se přivede na všechny vstupy signál s úrovní L (0 V až +0,8 V) a výstupní zesilovač se nastaví potenciometrem R_1 (nastavení nuly) na nulové výstupní napětí. Při bipolárním provozu se přivede na vstupy převodníku rovněž signál s úrovní L, avšak potenciometrem R_3 (nastavení ofsetu) se nařídí záporné napětí výstupního zesilovače pro plný rozsah podle kódovací tabulky.

Zisk pro oba druhy provozu (unipolární a bipolární) se nastavuje přivedením signálu s úrovní H (+2,0 až +5,5 V) na všechny číslicové vstupy převodníku. Potenciometrem R_4 (nastavení zisku) se nastaví kladné napětí pro plný rozsah podle kódovací tabulky 8.

Převodník s pevným výstupním napětím

Malá impedance výstupního napětí může být odvozena z výstupního proudu převodníku D/A použitím výstupního zesilovače v zapojení podle obr. 33. Výstupní proud I_O pro-



Obr. 33. Převodník D/A s obvodem MC1408 s pevným výstupním a referenčním napětím. Jako zdroj přesného referenčního napětí 2,5 V s přesností $\pm 0,4$ % slouží integrovaný obvod AD580

téká rezistorem R_O a vytváří kladné napětí na výstupu operačního zesilovače OZ₁. Rezistor R_O se zvolí pro žádaný rozsah výstup-

ního napětí podle vztahu

$$U_O = \frac{U_{REF}}{R_{REF}} \cdot R_O \left(\frac{B_7}{2} + \frac{B_6}{4} + \frac{B_5}{8} + \frac{B_4}{16} + \frac{B_3}{32} + \frac{B_2}{64} + \frac{B_1}{128} + \frac{B_0}{256} \right)$$

Nastavením referenčního napětí, referenčního odporu nebo odporu R_O tak, aby na všech číslicových vstupech byla logická úroveň H, dostaneme po dosazení do výše uvedeného vztahu výstupní napětí U_{RO} . Tak např. pro napětí $U_O = 9,961$ V zvolíme

$$U_O = \frac{2,5 \text{ V}}{1,25 \text{ k}\Omega} \cdot 5 \text{ k}\Omega \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{16} + \frac{1}{32} + \frac{1}{64} + \frac{1}{128} + \frac{1}{256} \right) = 9,961 \text{ V.}$$

Požadujeme-li bipolární výstupní napětí, doplníme popsany obvod přidáním rezistoru R_{BP} (v obrázku vyznačen čárkovaně). Jeho úkolem je zajistit na ofsetu polovinu napětí na výstupu operačního zesilovače OZ₁ při plné stupnici. Postup při kalibrování obvodu podle obr. 33 následuje.

Kalibrace unipolárního výstupního napětí (bez rezistoru R_{BP}):

a – Na všech vstupech převodníku bude signál s úrovní L, vyvažovací potenciometr R_1 operačního zesilovače nastavíme tak, aby na výstupu zesilovače bylo nulové napětí $U_O = 0,00$ V.

b – Na všechny vstupy převodníku přivedeme signál s úrovní H, referenční rezistor R_{REF} nastavíme tak, aby pro výstupní napětí při jmenovitém plném rozsahu minus 1 LSB bylo napětí právě $U_O = +9,961$ V.

Kalibrace bipolárního výstupního napětí (rezistor R_{BP} připojen, potenciometr R_1 není zapotřebí):

a – Na všech vstupech převodníku zajistíme signál s úrovní L, rezistor R_{BP} nastavíme tak, aby na výstupu bylo napětí $U_O = -FS = -5,000$ V.

b – Na vstup B_8 (MSB) se přivede signál s úrovní H, všechny ostatní vstupy budou na úrovni L, referenční rezistor R_{REF} se nastaví tak, aby na výstupu bylo nulové napětí $U_O = 0,000$ V.

c – Na všechny vstupy převodníku se přivede signál s úrovní H, tím se potvrdí, že výstupní napětí $U_O = +5,000$ V – 1 LSB = +4,961 V.

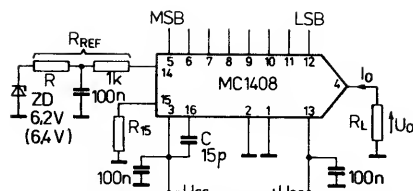
Referenční zesilovač se musí externě kompenzovat kondenzátorem C, připojeným z vývodu 16 na přívod záporného napájecího napětí $-U_{CC}$ (vývod 3). Kompenzační kondenzátor se může připojit rovněž mezi vývod 16 a zemní potenciál. Připojení k vývodu 3 však zlepšuje závislost ovlivňování při změnách záporného napájecího napětí. Kapacita kondenzátoru C závisí na odporu rezistoru R_{14} . Pro typický odpor rezistoru R_{14}

Tab. 8. Kódovací a vyvažovací tabulky
Unipolární provoz – přímé binární kódování

Vstupní kód	Rozsah unipolárního výstupu			
	MSB	LSB	0...+5 V	0...+10 V
HHHHHHHH	H	H	+4,980 V	+9,961 V
HHHLLLLL	H	L	+4,375 V	+8,750 V
HHLLLLLL	H	L	+3,750 V	+7,500 V
HLLLLLLL	H	L	+2,500 V	+5,000 V
LLLLLLLL	L	L	+1,250 V	+2,500 V
LLLLLLLL	L	L	+0,020 V	+0,039 V
LLLLLLLL	L	L	0,000 V	0,000 V

Bipolární provoz – ofsetové binární kódování

Vstupní kód	Rozsah bipolárního výstupu			
	MSB	LSB	± 5 V	± 10 V
HHHHHHHH	H	H	+4,961 V	+9,922 V
HHHLLLLL	H	L	+3,750 V	+7,500 V
HHLLLLLL	H	L	+2,500 V	+5,000 V
HLLLLLLL	H	L	0,000 V	0,000 V
LLLLLLLL	L	L	-2,500 V	-5,000 V
LLLLLLLL	L	L	-4,961 V	-9,922 V
LLLLLLLL	L	L	-5,000 V	-10,000 V



Obr. 34. Kompenzační zapojení převodníku D/A MC1408

platí typická kapacita C:

$$R_{14} = 1000, 2500, 5000 \Omega$$

$$C = 15, 37, 75 \text{ pF}$$

Kompenzace referenčního zesilovače se doporučuje především při použití převodníků MC1408 jako násobících převodníků D/A. Vhodná kompenzace zabezpečuje, že výstupní „špičky“ se neprojeví škodlivě, jestliže referenční napětí změní skokově svou velikost. Jestliže je vývod 14 buzen z proudového zdroje s velkou impedancí, např. z kolektoru tranzistoru, musí se použít kompenzační kondenzátor s větší kapacitou než udává výše uvedená tabulka. Úprava se projeví nežádoucím podstatným zmenšením šířky pásma referenčního zesilovače.

Jiný způsob kompenzace je uveden v zapojení na obr. 34. Rezistor 1 kΩ je vždy zapojen ve vývodu 14, sériově je však s ním zapojen další resistor R, který vede ke zdroji referenčního napětí. Bod spojení obou rezistorů je blokován vůči zemi kondenzátorem s kapacitou 100 nF. Z hlediska vysokých kmitočtů má vývod 14 vždy odpor 1 kΩ, proto se musí používat kondenzátor C s kapacitou 15 pF. Použije-li se resistor R15, jeho odpor se má rovnat součtu odporů 1 kΩ a R. Jako zdroj referenčního napětí se doporučuje používat Zenerovu diodu s napětím 6,2 nebo 6,4 V.

Doba ustálení závisí do jisté míry na odporu zatěžovacího rezistoru RL. Při odporu od 0 do 500 Ω je doba ustálení typicky 300 ns a v tomto rozsahu se prakticky nemění. Při odporu 1 kΩ se typická doba ustálení prodlouží asi na 400 ns. Zvětší-li se zatěžovací odpor na 2500 Ω, prodlouží se doba ustálení až na 1200 ns.

Převodníky D/A 8 b řady DAC-08

Řada převodníků integrovaných obvodů obsahuje několik typů, které se navzájem odlišují rychlostí, přesností a dovoleným rozsahem teplot. Funkčně jsou konstruovány obdobně s převodníkovými obvody řady MC1408, mohou je proto prakticky bez problémů nahradit. V některých vlastnostech se od nich odlišují, především v těchto bodech:

- navíc jsou vybaveny invertujícím výstupem,
- rozsah výstupního napětí je podstatně větší,
- obvody nemají vývod pro řízení výstupního rozsahu; místo něj je možné pomocí vývodu LC (řízení prahové logiky) optimalizovat budicí číslicový obvod s ohledem na rušivý odstup,
- rychlost převodu je větší, teplotní vlastnosti jsou příznivější a vazba mezi referenčním proudem a konečnou hodnotou rozsahu je pevná,
- strmost náběžné hrany (spínací poměr) referenčního proudu je větší,
- připouští se větší napájecí napětí, což usnadňuje slučitelnost s různými řadami logických obvodů, jejichž napájecí napětí je větší než 5,5 V.

Základní provedení převodníkových obvodů DAC-08C má relativní přesnost $\pm 0,39\%$, dovolený rozsah provozních teplot okolí je od 0 do $+70^\circ\text{C}$.

Výběrové převodníkové obvody DAC-08C se vyznačují ve stejném dovoleném rozsahu provozních teplot relativní přesností $\pm 0,19\%$, navíc mají lepší symetrii konečné hodnoty rozsahu obou výstupních proudů, a menším maximálním zbytkovým výstupním proudem za předpokladu, že všech osm vstupů bude mít úroveň L. Převodník DAC-08Q má při stejných vlastnostech jako DAC-08E dovolen provoz v širokém rozsahu provozních teplot okolí od -55 do $+125^\circ\text{C}$.

Pro elektronické obvody, u nichž se vyžaduje zvlášť velká rychlost a přesnost, jsou určeny převodníkové obvody DAC-08H a DAC-08AQ, které mohou pracovat v rozsahu teplot okolí od 0 do $+70^\circ\text{C}$ a v rozšířeném rozsahu od -55 do $+125^\circ\text{C}$. Oba obvody mají relativní přesnost $\pm 0,1\%$. Ve srovnání s již popisovanými typy uvádí výrobce v jejich katalogovém listu též rozdílovou linearity (prům. $0,1\%$, max. $0,19\%$), údaje při nejhorších pracovních podmínkách pro teplotní součinitel max. $\pm 50 \text{ ppm/K}$ a náběžnou strmost zesilovače referenčního proudu (min. $4 \text{ mA}/\mu\text{s}$). Navíc mají tyto součástky lepší symetrii konečné hodnoty rozsahu obou výstupních proudů, dále menší maximální zbytkové proudy, lepší potlačení změn záporného napájecího napětí a kratší dobu ustálení.

Funkce a vlastnosti převodníků řady DAC-08

Převodníkové obvody řady DAC-08 jsou složeny ze tří funkčních jednotek: referenčního zesilovače, rezistorové jednotky R-2R

a osmi rychlých proudových spínačů. Konstrukce je obdobná jako u převodníků MC1408. Funkční skupinové zapojení převodníkových obvodů řady DAC-08 všech výrobců je uvedeno na obr. 35, a to bez ohledu na to, jaký typový znak mají přidělen.

Porovnáním skupinových zapojení zjistíme, že oba vývody proudových spínačů S_8 až S_1 jsou vyvedeny jako normální výstup I_0 a jako invertující výstup \bar{I}_0 . Jak vyplývá z funkčního skupinového zapojení, je součet obou proudů vázán s referenčním proudem vztahem

$$I_0 + \bar{I}_0 = I_{\text{REF}} \frac{255}{256}$$

Součet obou proudů se označuje jako I_{FS} , tedy proud pro plný rozsah.

Jiný je způsob vazby referenčního proudu ze zesilovače referenčního proudu do rezistorové jednotky R-2R. Zatímco u převodníků MC1408 se odebíral proud ze základního bodu rezistorové jednotky pomocí generátoru proudu, u převodníků DAC-08 je vazba provedena rozdělením proudu z vazebního tranzistoru T_{10} do sítě vodičů (tranzistory T_1 až T_9).

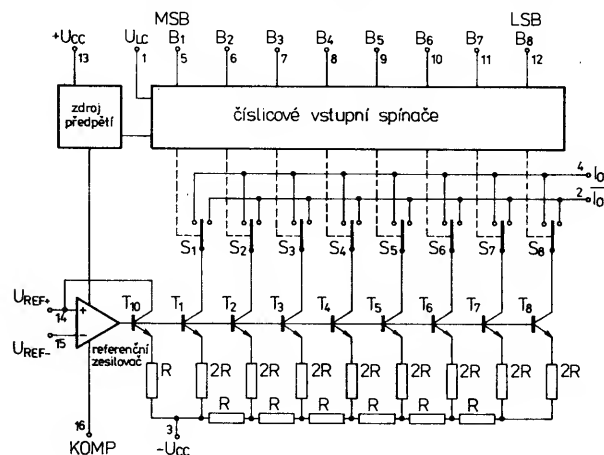
Všechny integrované obvody převodníků řady DAC-08 se napájejí symetrickým napětím, vlastní převodník nemusí být připojen k zemnicímu potenciálu. Vztahový potenciál je však žádoucí pro vnější připojené spolupracující logické obvody, proto se převodníky ponejvíce používají se dvěma napájecími napětími ($+U_{\text{CC}}$ a $-U_{\text{CC}}$) vůči vztahnému potenciálu. Symetrické napájení však není nutné, neboť převodníky jsou necitlivé vůči změnám napájecích napětí. Dovoleno je rovněž napájení z baterie s virtuálním zemnicím bodem bez jakéhokoli omezení.

Napětí mezi vývody $+U_{\text{CC}}$ a $-U_{\text{CC}}$ se však nesmí zmenšit pod hranici 8 V, neboť při menším napětí vypadne funkce vnitřního proudového napájení. Při provozu s malým napájecím napětím se doporučuje používat referenční proud max. 1 mA, protože záporná maximální odchylka klesá s narůstajícím referenčním proudem. Doporučené napájecí napětí převodníků řady DAC-08 je $\pm 15 \text{ V}$, referenční proud 2 mA.

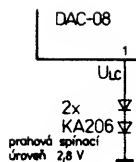
Vývody pro připojení napájecích napětí $+U_{\text{CC}}$ a $-U_{\text{CC}}$ se doporučuje vždy přemostit kvalitním kondenzátorem 100 nF proti zemi. Číslicové vstupy B_3 až B_1 řídí přes osm vstupních spínačů proudové spínače S_8 až S_1 . Rozhodují, zda výstupní proud rezistorové jednotky má být odebírán z normálního nebo invertujícího výstupu. Uspořádání spínačů je vůči normálnímu výstupu I_0 neinvertující. Signál s úrovní H na číslicovém vstupu přepíná příslušný dílci proud z invertujícího výstupu \bar{I}_0 na normální výstup I_0 (neinvertující).

Připojením napětí vhodné velikosti k vývodu LC je možné změnit prahovou úroveň spínání ve velmi širokém rozmezí. Prahové spínací napětí je větší o dva úbytky napětí na diodách (1,4 V), než napětí na vývodu LC. Horní hranice napětí U_{LC} je o 1,5 V menší než napájecí napětí $+U_{\text{CC}}$. Dolní hranice tohoto napětí závisí v důsledku úbytku napětí na rezistorové jednotce na velikosti referenčního proudu. Platí vztah

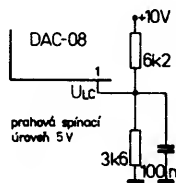
$$+U_{\text{CC}} - 1,5 \text{ V} \geq U_{\text{LC}} \geq -U_{\text{EE}} + I_{\text{REF}} \cdot 1 \text{ k}\Omega + 2,5 \text{ V}.$$



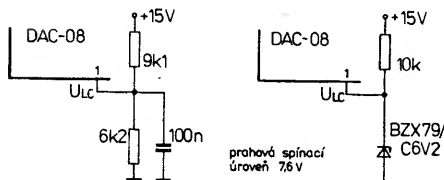
Obr. 35. Funkční skupinové zapojení převodníků D/A 8 b řady DAC-08



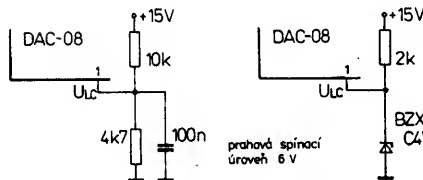
Obr. 36. Zapojení vývodu LC obvodu DAC-08 při spolupráci s logikou CMOS s napájecím napětím 5 V; spínací prahová úroveň 2,8 V



Obr. 37. Zapojení vývodu LC obvodu DAC-08 při spolupráci s logikou CMOS s napájecím napětím 10 V; spínací prahová úroveň 5 V



Obr. 38. Dva způsoby zapojení vývodu LC obvodu DAC-08 při spolupráci s logikou CMOS, HTL, HN1L s napájecím napětím 15 V; spínací prahová úroveň 7,6 V



Obr. 39. Dva způsoby zapojení vývodu LC obvodu DAC-08 při spolupráci s logikou LSL; spínací prahová úroveň 6 V

Používá-li se převodník DAC-08 ve spojení s logikou TTL nebo DTL, připojí se vývod LC jednoduše na zemní potenciál. Na obrázcích 36 až 42 je znázorněno, jakým způsobem se vývod LC připojuje při spolupráci s různými řadami logických obvodů, má-li se dosáhnout maximální odolnosti proti rušení. Při zapojování vývodu LC se musí vždy počítat s tím, že tento vývod může odevzdat proud nejvýše do 200 μ A. Přesná velikost proudu vždy závisí na dimenzování vnějších součástek. Je-li žádoucí krátká doba ustálení převodníku, musí se použít malá impedance na vývodu LC. Je-li vývod LC připojen k napěťovému děliči s vnitřním odporem větším než 1 k Ω , může se připojit proti zemi kapacitní zátěž s kondenzátorem nejméně 10 nF (viz obr. 37, 38, 39).

Převodníkové obvody DAC-08 mohou zpracovávat logické signály s velkou úrovní. Nejmenší nízká úroveň L má však být

$$U_L = -U_{CC} + I_{REF} \cdot 1 \text{ k}\Omega + 2,5 \text{ V.}$$

Největší vysoká úroveň H má být 36 V nad úrovní záporného napájecího napětí $-U_{CC}$. Tato napěťová úroveň není závislá na napájecím napětí $+U_{CC}$. Přímá spolupráce převodníků DAC-08, napájených malým symet-

rickým napětím ± 5 V je proto možná s obvody logiky CMOS, napájenými napětím $+15$ V. Dodržet se přitom musí pouze velikost napětí na vývodu LC, která nesmí překročit 3,5 V.

Zesilovač referenčního proudu převodníku DAC-08 se odlišuje od zesilovače v MC1408 jen způsobem vazby referenčního proudu v rezistorové jednotce R-2R. Zatímco u MC1408 je výstup zesilovače vytvořen jako proudový generátor, který odebírá součet proudů ze základního bodu rezistorové jednotky (viz funkční skupinové zapojení MC1408), je u převodníků DAC-08 referenční proud vázán proudovým zrcadlem v rezistorové jednotce (obr. 35). Tímto způsobem se dosáhne těsnější vazby mezi referenčním proudem a konečnou hodnotou rozsahu výstupního proudu. U převodníků DAC-08 se konečná hodnota rozsahu výstupního proudu odchyluje bez vyvážení max. $\pm 0,4$ %, což odpovídá ± 1 LSB jmenovité hodnoty. V důsledku této přesnosti není nutné v mnoha případech další vyvažování.

Záporný rozsah soufázovosti zesilovače referenčního proudu je omezen úbytkem napětí v rezistorové jednotce R-2R. Platí proto vztah

$$U_{CM-} = -U_{CC} + I_{REF} \cdot 1 \text{ k}\Omega + 2,5 \text{ V.}$$

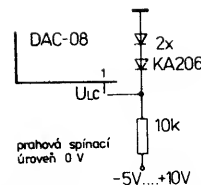
Kladný rozsah soufázovosti jde až 1,5 V pod napětí $+U_{CC}$, proto platí

$$U_{CM+} = +U_{CC} - 1,5 \text{ V.}$$

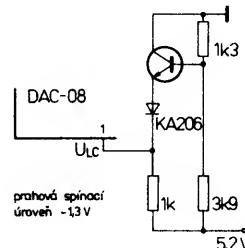
Teplotná závislost konečné hodnoty rozsahu výstupních proudů klesá se zvětšujícím se referenčním napětím, neboť vliv rozdílového napětí a jeho teplotní součinitel se zmenšují. Nejvhodnější je referenční napětí 10 V. Katalogový list převodníků DAC-08 uvádí teplotnou závislost průměrně ± 10 ppm/K. Chceme-li dosáhnout co nejpříznivějších vlastností posuvu pro celý systém, musí mít referenční rezistor R_{REF} a zatěžovací rezistor R_L stejný teplotní součinitel. Volba teplotně stabilního zdroje referenčního napětí je přitom samozřejmá.

Zesilovač referenčního proudu převodníků DAC-08 se musí kompenzovat kondenzátorem C, připojeným mezi vývod 16 a záporný napájecí zdroj (vývod 3). Velikost kapacity závisí na velikosti impedance na vývodu 14 (R_{REF}). Platí stejné závislosti jako u převodníků MC1408. Při odporu rezistoru $R_{REF} = 1 \text{ k}\Omega$, 2,5 a 5 k Ω je doporučená kompenzační kapacita 15, 37 a 75 pF. Použije-li se rezistor s větším odporem, je zapotřebí úměrně zvětšit kapacitu kompenzačního kondenzátoru. Tím se ovšem úměrně zmenší strmost náběžné hrany a šířka pásma. Pro rychlá násobení a provoz s impulsně tvarovanými signály na referenčním vstupu se musí použít pokud možno co nejmenší odpor referenčního rezistoru. Při rezistoru $R_{REF} = 1 \text{ k}\Omega$ a kapacitě $C = 50 \text{ pF}$ je strmost náběžné hrany 4 mA/ μ s, což odpovídá zvýšení referenčního proudu z nulové velikosti na 2 mA během doby 500 ns.

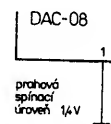
Zapojení zvlášť rychle pracujícího převodníku D/A je znázorněno na obr. 43. Kritická impedance pro kompenzaci odpovídá paralelnímu zapojení rezistorů R_V a R_P . Je-li jejich odpor menší než 200 Ω , je zesilovač referenčního proudu stabilní i bez vnější kompenzace. Konečné hodnoty rozsahu 2 mA se v tomto případě dosáhne po 120 ns a to odpovídá strmosti náběžné hrany 16 mA/ μ s. Této velikosti je možné dosáhnout jen při konstrukci s velmi malými kapacitami. Podmínkou jsou co nejkratší přívody



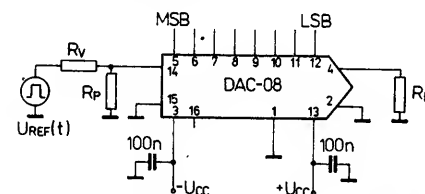
Obr. 40. Zapojení vývodu LC obvodu DAC-08 při spolupráci s logikou PMOS; spínací prahová úroveň 0 V



Obr. 41. Zapojení vývodu LC obvodu DAC-08 při spolupráci s logikou ECL 10k; spínací prahová úroveň -1,3 V



Obr. 42. Zapojení vývodu LC obvodu DAC-08 při spolupráci s logikou TTL a DTL; spínací prahová úroveň 1,4 V

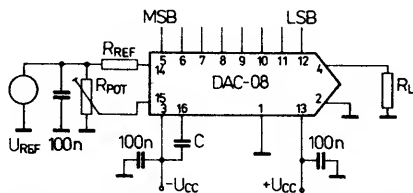


Obr. 43. Zapojení integrovaného obvodu DAC-08 s velkou strmostí náběžné hrany proudu referenčního zesilovače

a bezvadné, spolehlivé pájené zemnicí spoje. Využije-li se stejnosměrných referenčních napětí, doporučuje se kompenzační kapacita 10 nF. Zapojení je pak stabilní při odporu referenčního rezistoru až do 600 k Ω .

Požadavky na zdroj referenčního napětí jsou stejné jako u převodníků MC1408. Nedoporučuje se používat společný zdroj pro napájení logických integrovaných obvodů jako zdroj referenčního napětí. Stejnosměrná referenční napětí mají být vždy přemostěna kondenzátorem s kapacitou 0,1 μ F proti zemi. Je-li v některých případech použití potřebné vyrovnat konečnou hodnotu rozsahu, může se použít jako referenční rezistor rezistorový trimr, ovšem velmi kvalitní konstrukce. Musíme však počítat s tím, že teplotní součinitel proměnného odporu vždy ovlivňuje přesnost celého zapojení. Zapojení na obr. 44 znázorňuje způsob omezení teplotní závislosti. Pomocí rezistoru R_{POT} se změní potenciál na vstupech operačního zesilovače (vývody 14 a 15), čímž se zmenší stejnou mírou napětí na rezistoru R_{REF} . Teplotní součinitel zůstává zde bez účinku, neboť poměr děliče i při změnách celkového odporu rezistoru R_{POT} zůstává konstantní.

Chceme-li současně kompenzovat vliv vstupního klidového proudu, musí se zapo-



Obr. 44. Zapojení pro vyvážení výstupního proudu integrovaného obvodu DAC-08 na konečnou hodnotu rozsahu

jení navrhovat tak, aby se odpor rezistoru R_{POT} rovnal $11R_{REF}$ a pro přesné vyvážení byl dělicí poměr asi 1:9. Vstupní odpor referenčního vývodu (15) je v tomto případě roven přibližně referenčnímu odporu.

Jak již bylo uvedeno na začátku, převodník má k dispozici dva komplementární výstupy I_O a \bar{I}_O . Jsou provedeny jako proudové výstupy a jejich předností je, že snášejí velký rozkmit výstupního napětí. Odchýlení k záporným napětím je omezeno úbytkem napětí v rezistorové jednotce R-2R podle vztahu

$U_{O \min} = -U_{CC} + I_{REF} \cdot 1 \text{ k}\Omega + 2,5 \text{ V}$. Maximální kladná odchylka má velikost o 36 V větší než záporné napájecí napětí $-U_{CC}$, tedy

$$U_{O \max} = -U_{CC} + 36 \text{ V}.$$

V důsledku velkého výstupního zdvihu je možná přímá proudová – napěťová transformace pomocí rezistoru, připojeného k zemnicimu nebo jinému referenčnímu potenciálu. Mnohdy není proto nutný přídatný výstupní zesilovač. V případech, kdy se mají zpracovávat rozdíly napětí, zdvojnásobí se mezivrcholový zdvih výstupního napětí.

Jestliže je binární informace 8 b na číslicovém vstupu ve tvaru desítkového čísla N , platí mezi referenčním proudem a oběma výstupními proudy následující vztahy

$$I_O = I_{REF} \frac{N}{256}$$

$$\bar{I}_O = I_{REF} \frac{255 - N}{256}$$

Číslo N může mít velikost od 0 do 255. Součet obou proudů je konstantní a odpovídá konečné hodnotě rozsahu I_{FS} . Proto platí

$$I_{FS} = I_{REF} \frac{255}{256}$$

Jestliže se jeden z obou výstupů nepoužije, musí se nepoužitý výstup připojit na zemi nebo jiný potenciál uvnitř dovoleného pracovního rozsahu. Nepoužitý vývod musí být ve stavu, který vyvolá konečný rozsah výstupního proudu I_{FS} . Nepoužitý výstup se v žádném případě nesmí ponechat volný, neboť by se tím posunula proudová bilance v rezistorové jednotce R-2R.

Extrémně lineární rozsah mezi referenčním proudem a konečnou hodnotou rozsahu v širokém proudovém rozmezí od 4 mA do 4 μ A je příčinou, proč mají převodníkové obvody DAC-08 velmi dobré násobící vlastnosti. Monotonní chování převodníků je typická vlastnost v rozsahu od 4 mA do 100 μ A.

Převodníky D/A řady DAC-08 se vyznačují velmi krátkou dobou ustálení. Tento parametr se u výrobků různých výrobců odlišuje, průměrně je udáván od 70 do 135 ns. Uvedené doby ustálení platí při teplotě 25 °C a při referenčním proudu 2 mA. Při teplotě -55 °C se doba ustálení zkracuje asi o 10 %,

při teplotě +125 °C se naopak prodlouží asi o 15 %.

Doba ustálení při referenčních proudech větších než 1 mA je v podstatě konstantní, při proudech menších se však poněkud zvětšuje.

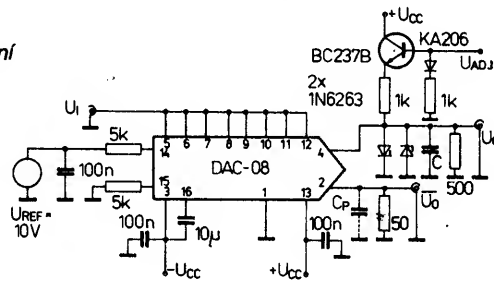
Výstupní kapacita převodníků (včetně kapacity pouzdra, v němž je převodník dodáván) je asi 15 pF. Při ideálním proudovém skoku řádově stejně velkém jako je konečný rozsah, bude zákmit (na 1/2 LSB), podmíněný výstupní časovou konstantou, trvat po dobu

$$t = R_L C \ln 512.$$

Použije-li se zatěžovací rezistor s odporem 500 Ω a zatěžovací kapacita 15 pF, bude výsledná doba $t = 46,8 \text{ ns}$. Tato doba je sice kratší než doba ustálení, řádově je však stejná. K měření doby ustálení se používá typizované zapojení podle obr. 45.

Velké pracovní rychlosti jsou prakticky dosažitelné pouze při pečlivém návrhu zapojení, pečlivém návrhu desky s plošnými spoji a při pečlivé vlastní montáži součástek. Hlavní podmínkou jsou co nejkratší přívody, co nejmenší nebo téměř žádné výstupní kapacity, malý odpor zatěžovacích rezistorů, blokování přívodů napájecích napětí kvalitními kondenzátory (nejlépe tantalovými nebo keramickými). Rovněž přívod referen-

Obr. 45. Měřicí zapojení doby ustálení převodníku D/A řady DAC-08

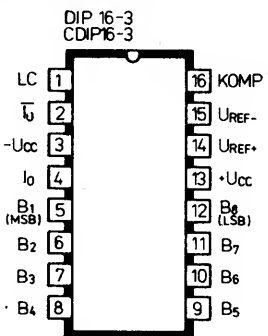


čního napětí a napětí na vývodu LC se musí obdobně blokovat proti zemnímu potenciálu kondenzátory s kapacitou alespoň 100 nF.

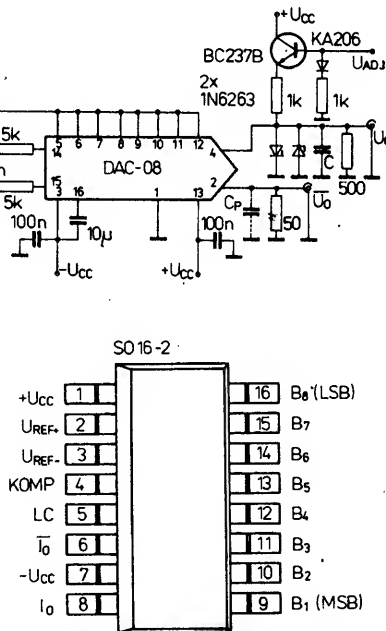
Souhrnný přehled základních vlastností převodníkových obvodů D/A 8 b řady DAC-08 několika výrobců je v tab. 9. Zapojení vývodů jednotlivých součástek ve sloupci „Z“ se vztahuje k obr. 46, 47, 48. Funkce vývodů: LC – řízení prahového napětí; I_O – výstupní napětí, \bar{I}_O – invertované výstupní napětí; $+U_{CC}$ – přívod kladného napájecího napětí; $-U_{CC}$ – přívod záporného napájecího napětí; B_1 až B_8 – číslicové vstupy; U_{REF+} – přívod kladného referenčního napětí; U_{REF-} – přívod záporného referenčního napětí; KOMP – kompenzace referenčního zesilovače vnějším kondenzátorem C s kapacitou 15, 37 nebo 75 pF.

Převodníkové obvody řady DAC-08 vyrábí několik hlavních výrobců. Označují se různě, jejich elektrické údaje se často dosti odlišují, avšak jejich funkční použití je shodné. Hlavními výrobci obvodů této řady jsou americké firmy Motorola a Precision Monolithic Inc., které vyrábějí dosti širokou řadu převodníkových obvodů s relativní přesností 0,10, 0,19, 0,39 % FS. Dodávají se v keramických a plastových pouzdrech DIP-16, v plastovém pouzdru SO-16 a LCC-20, vhodných pro povrchovou montáž. Elektrické údaje těchto součástek jsou uvedeny v tab. 10.

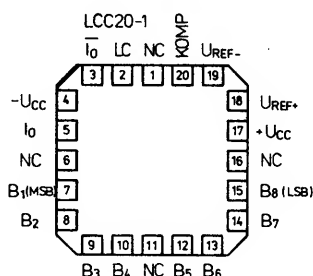
Holandský výrobce Philips Components vyrábí převodníky DAC-08 ve složení podle tabulky 11. Jejich typové označení je mírně upravené a neshoduje se značením předchozích dvou výrobců. Ve starších podkladech označovala firma Philips tyto součástky znaky NE5007 až NE5009, SE5008 a SE5009, které převzala od své dceřiné americké společnosti Signetics. Součástky s tímto označením se již nedodávají, neboť je plně nahrazuje inovované provedení DAC-08. Vyskytují se však dosud v různých zařízeních a literatuře.



Obr. 46. Zapojení vývodů DIP-16-3 obvodů DAC-08 všech výrobců, NE5007, NE5008, NE5009, SE5008, SE5009 Philips, AD DAC-08 Analog Devices, DAC0800, DAC0801, DAC0802 National Semiconductor, μ A0801 Fairchild, MDAC-08 TESLA



Obr. 47. Zapojení vývodů SO16-2 int. obvodů DAC-08CD, DAC-08ED, DAC-08CS Motorola, Precision Monolithics, DAC-08ED Philips



Obr. 48. Zapojení vývodů LCC20-1 int. obvodů DAC-08RC/883 Precision Monolithic

Tab. 9. Přehled základních vlastností převodníků D/A řady DAC-08

Typ	Roz- li- še- ní	Rel. přesnost	Doba ustálení	Napájecí napětí	Ztrátový výkon	Te- plot- ní roz- sah	Pouzdro	Výrob- ce	Zapojení vývodů	obr. č.
	[b]	[% FS]	[ns]	[V]	[mW]					
ADDAC-08	8	0,19	85≤135	±15	135	A	DIP16	AD	DIP16-3	46
ADDAC-08A	8	0,10	85≤135	±15	135	A	DIP16	AD	DIP16-3	46
ADDAC-08AD	8	0,10	85≤135	±15	135	A	CDIP16	AD	DIP16-3	46
ADDAC-08C	8	0,39	85≤150	±15	135	D	DIP16	AD	DIP16-3	46
ADDAC-08CD	8	0,39	85≤150	±15	135	D	CDIP16	AD	DIP16-3	46
ADDAC-08D	8	0,19	85≤135	±15	135	A	CDIP16	AD	DIP16-3	46
ADDAC-08E	8	0,19	85≤150	±15	135	D	DIP16	AD	DIP16-3	46
ADDAC-08ED	8	0,19	85≤150	±15	135	D	CDIP16	AD	DIP16-3	46
ADDAC-08H	8	0,10	85≤135	±15	135	D	DIP16	AD	DIP16-3	46
ADDAC-08HD	8	0,10	85≤135	±15	135	D	CDIP16	AD	DIP16-3	46
DAC-08AD	8	0,10	85≤150	±15	135	A	CDIP16	Ray	DIP16,3	46
DAC-08D/ /883B	8	0,10	85≤150	±15	135	A	CDIP16	Ray	DIP16-3	46
DAC-08AF	8	0,10	70≤135	±15	156	A	CDIP16	P	DIP16-3	46
DAC-08AQ	8	0,10	85≤	±15	135	A	CDIP16	Mo, PMI	DIP16-3	46
DAC-08BC	8	0,19	85≤150	±15		D	DIP16	D	DIP16-3	46
DAC-08BM	8	0,19	85≤150	±15		A	CDIP16	D	DIP16-3	46
DAC-08CD	8	0,39	85	±15	135	D	SO-16	Mo	SO16-2	47
DAC-08CF	8	0,39	70≤135	±15	156	D	DIP16	P	DIP16-3	46
DAC-08CN	8	0,39	70≤135	±15	156	D	CDIP16	P	DIP16-3	46
DAC-08CP	8	0,39	85	±15	135	D	DIP16	Mo, PMI	DIP16-3	46
DAC-08CQ	8	0,39	85	±15	135	D	CDIP16	Mo, PMI	DIP16-3	46
DAC-08CS	8	0,39	85	±15	135	D	SO-16	PMI	SO16-2	47
DAC-08D	8	0,19	85≤150	±15	135	A	CDIP16	Ray	DIP16-3	46
DAC-08D/ /883B	8	0,19	85≤150	±15	135	A	CDIP16	Ray	DIP16-3	46
DAC-08ED	8	0,19	85	±15	135	D	SO-16	Mo	SO16-2	47
DAC-08ED	8	0,19	70≤135	±15	156	D	SO-16	P	SO16-2	47
DAC-08EF	8	0,19	70≤135	±15	156	D	CDIP16	P	DIP16-3	46
DAC-08EN	8	0,19	70≤135	±15	156	D	CDIP16	P	DIP16-3	46
DAC-08EP	8	0,19	85	±15	135	D	DIP16	Mo, PMI	DIP16-3	46
DAC-08EQ	8	0,19	85	±15	135	D	CDIP16	Mo, PMI	DIP16-3	46
DAC-08F	8	0,19	70≤135	±15	156	A	CDIP16	P	DIP16-3	46
DAC-08HF	8	0,10	70≤135	±15	156	D	CDIP16	P	DIP16-3	46
DAC-08HN	8	0,10	70≤135	±15	156	D	DIP16	P	DIP16-3	46
DAC-08HN	8	0,10	85≤135	±15	135	D	DIP16	Ray	DIP16-3	46
DAC-08HP	8	0,10	85	±15	135	D	DIP16	Mo, PMI	DIP16-3	46
DAC-08HQ	8	0,10	85	±15	135	D	CDIP16	Mo, PMI	DIP16-3	46
DAC-08Q	8	0,19	85	±15	135	A	CDIP16	Mo, PMI	DIP16-3	46
DAC-08RC/ /883B	8	0,19	85	±15	135	A	LCC-20	PMI	LCC20-1	48
DAC-0800LCJ	8	0,19	100≤135	±15	135	D	CDIP16	NS	DIP16-3	46
DAC-0800LCN	8	0,19	100≤135	±15	135	D	DIP16	NS	DIP16-3	46
DAC-0800LD	8	0,19	100≤135	±15	135	A	CDIP16	NS	DIP16-3	46
DAC-0801LCJ	8	0,39	100≤135	±15	135	D	CDIP16	NS	DIP16-3	46
DAC-0801LCN	8	0,39	100≤150	±15	135	D	DIP16	NS	DIP16-3	46
DAC-0802LCJ	8	0,10	100±150	±15	135	D	CDIP16	NS	DIP16-3	46
DAC-0802LCN	8	0,10	100±150	±15	135	D	CDIP16	NS	DIP16-3	46
DAC-0802LD	8	0,10	100±150	±15	135	A	CDIP16	NS	DIP16-3	46
MDAC08C	8	0,19	85≤150	±15		A	CDIP16	T	DIP16-3	46
MDAC08CC	8	0,39	85≤150	±15		D	CDIP16	T	DIP16-3	46
MDAC08CP	8	0,39	85≤150	±15		D	DIP16	T	DIP16-3	46
MDAC08EC	8	0,19	85≤150	±15		D	CDIP16	T	DIP16-3	46
MDAC08EP	8	0,19	85≤150	±15		D	DIP16	T	DIP16-3	46
NE5007F	8	0,39	100	±15	135	D	CDIP16	P	DIP16-3	46

Specializovaný výrobce Analog Devices vyrábí základní typy převodníkových obvodů DAC-08, které označuje znakem AD DAC-08. Jejich elektrické údaje jsou v tabulce 12. Jsou v plastovém pouzdru DIP-16, jejich relativní přesnost zahrnuje všechny tři třídy, vybrané typy jsou vhodné pro práci v širokém rozsahu provozních teplot.

Převodníkové obvody řady DAC-08 firmy Raytheon jsou v podstatě shodné s výrobky Analog Devices, jejich údaje jsou rovněž v tabulce 12. Raytheon dodává špičkové součástky DAC-08D a DAC-08AB v provedení 833B, které vyhovuje podmínkám výroby a zkouškám pro speciálního zákazníka podle normy STD-MIL-883B. Součástky jsou v keramických a plastových pouzdech DIP-16.

Mezi součástkami firmy Fairchild jsou převodníkové obvody DAC-08 označeny typovým znakem μ A0801. Řada součástek obsahuje pouze typy s relativní přesností 0,19 a 0,39 % FS. Jejich elektrické údaje jsou v tabulce 13.

Neméně významný výrobce polovodičových součástek National Semiconductor má ve svém programu obvody popisované řady převodníků, které označuje DAC0800, DAC0801 a DAC0802. Poslední číslice znaku se vztahuje k relativní přesnosti, i když na přesnější údaje těchto součástek jsou v tabulce 14. Doba ustálení prům. 100 ns odpovídá staršímu technologickému provedení.

Převodníkové obvody DAC-08BC a DAC-08BM firmy Datel patří mezi součástky lepší kvalitativní třídy. Jejich relativní přesnost je pouze 0,19 % FS, doba ustálení typicky 85, maximálně 150 ns. Provedení BC je v plastovém, BM v keramickém pouzdru DIP-16, odtud dovolená pracovní teplota okolí 0 až +70 °C, popř. -55 až +125 °C. Jejich údaje jsou v tabulce 15.

Naše TESLA Rožnov patří rovněž mezi výrobce převodníkových obvodů řady DAC-08. Vyrábí několik typů v plastových a keramických pouzdech a označuje je znakem MDAC-08. Jejich elektrické údaje nalezne zájemce v katalogích součástek TESLA. Základní přehled těchto součástek zahrnuje rovněž přehledná tabulka 9.

Doporučená zapojení

Převodníkové obvody řady DAC-08 mohou funkčně plně nahradit obvody řady MC1408. To znamená, že všechna dříve popsaná zapojení těchto obvodů je možné použít bez úprav ve spojení s převodníkovými obvody řady DAC-08 všech výrobců. Nebudeme proto tato zapojení znovu opakovat v úpravě pro DAC-08. Zde jsou popsána doporučená zapojení, které nelze realizovat s obvody řady MC1408.

Záporné komplementární výstupy

Převodníky řady DAC-08 jsou vybaveny dvěma komplementárními výstupy. Jestliže se oba výstupy připojí přes zatěžovací rezistory R_L na zemní potenciál podle zapojení na obr. 49, dostaneme v závislosti na hodnotě N osmibitové binární informace na číslicových vstupech dvě komplementární výstupní napětí – napětí přímé

$$U_0 = \frac{U_{REF} \cdot R_L}{R_{REF}} \cdot \frac{N}{256}$$

NE5007N	8	0,39	100	±15	135	D	DIP16	P	DIP16-3	46
NE5008F	8	0,19	100	±15	135	D	CDIP16	P	DIP16-3	46
NE5008N	8	0,19	100	±15	135	D	DIP16	P	DIP16-3	46
NE5009F	8	0,10	100	±15	135	D	CDIP16	P	DIP16-3	46
NE5009N	8	0,10	100	±15	135	D	DIP16	P	DIP16-3	46
SE5008F	8	0,19	100	±15	135	A	CDIP16	P	DIP16-3	46
SE5009F	8	0,10	100	±15	135	A	CDIP16	P	DIP16-3	46
LA0801DM	8	0,19	85≤135	±15	135	A	CDIP16	F	DIP16-3	46
LA0801CDC	8	0,39	85≤135	±15	135	D	CDIP16	F	DIP16-3	46
LA0801CPC	8	0,39	85≤135	±15	135	D	DIP16	F	DIP16-3	46
LA0801EDC	8	0,19	85≤135	±15	135	D	CDIP16	F	DIP16-3	46
LA0801EPC	8	0,19	85≤135	±15	135	D	DIP16	F	DIP16-3	46

a invertované výstupní napětí

$$\bar{U}_0 = \frac{U_{REF} \cdot R_L}{R_{REF}} \cdot \frac{255 - N}{256}$$

Tato napětí jsou záporná proti vztažnému potenciálu. Při návrhu zapojení se musí volit poměr $R_{REF}:R_L$ tak, aby výstupní napětí zůstala uvnitř přípustného rozsahu. Kódovací a vyvažovací tabulka 16 udává údaje proudového a napěťového výstupu převodníku D/A s obvodem DAC-08 v popsaném zapojení při referenčním proudu 2 mA a zatěžovacích rezistorech s odporem 5 kΩ.

Kladné komplementární výstupy

Jsou-li zapotřebí kladná výstupní napětí převodníku, může se předcházející zapojení

Teplotní rozsah: A: -55 až +125 °C; D: 0 až +70 °C

Výrobce: AD - Analog Devices, D - Datal Corp., F - Fairchild, Mo - Motorola, NS - National Semiconductor,

P - Philips Components, PMI - Precision Monolithic Inc., Ray - Raytheon, T - Tesla

Tab. 10. Elektrické údaje převodníků řady DAC-08 výrobce Motorola a PMI

Mezní údaje			
Napájecí napětí kladné vstří -U _{CC}	+U _{CC} = 36	V	
Napětí logických vstupů	U _I = -U _{CC} až -U _{CC} + 36	V	
Logické prahové napětí			
vývod 1	U _{LC} = -U _{CC} až +U _{CC}	V	
Analogový výstupní proud			
-U _{CC} = 15 V	I _O = 4,25	mA	
Vstupní napětí referenčního zesilovače			
vývod 14	U _{14 REF} = -U _{CC} až +U _{CC}	V	
vývod 15	U _{15 REF} = -U _{CC} až +U _{CC}	V	
Vstupní rozdílové napětí referenčních vstupů			
vývod 14 vůči vývodu 15	U _{REFD} = ± 16	V	
Proud referenčního vstupu	I _{14 REF} = 5	mA	
Ztrátový výkon celkový	P _{tot} = 500	mW	
Rozsah provozní teploty okolí			
DAC-08A, DAC-08Q	θ _a = -55 až +125	°C	
DAC-08H, DAC-08E, DAC-08CQ, DAC-08HP, DAC-08ET, DAC-08CP, DAC-08CS, DAC-08ED, DAC-08CD	θ _a = 0 až +70	°C	
Rozsah sklaňovací teploty	θ _{stg} = -65 až +150	°C	
součástky v plastovém pouzdru	θ _{stg} = -65 až +125	°C	
Snížení ztrátového výkonu			
θ _a = 100 °C	α = 10	mW/K	
Teplota vývodu při páření			
t = 60 s	θ _L = 300	°C	
Teplotní odpor - pouze součástky PMI			
přechod-okolí			
keramické pouzdro CDIP-16	R _{thja} = 100	K/W	
plastové pouzdro DIP-16	R _{thja} = 82	K/W	
plastové pouzdro SO-16	R _{thja} = 111	K/W	
pouzdro LCC-20	R _{thja} = 76	K/W	
přechod-pouzdro:			
plastové pouzdro DIP-16	R _{thjc} = 39	K/W	
keramické pouzdro CDIP-16	R _{thjc} = 16	K/W	
plastové pouzdro SO-16	R _{thjc} = 35	K/W	
pouzdro LCC	R _{thjc} = 36	K/W	
Charakteristické údaje			
Flatit při U _{CC} = ±15 V, I _{REF} = 2,0 mA, není-li uvedeno jinak.			
DAC-08, DAC-08A; θ _a = -55 až +125 °C;			
DAC-08C, DAC-08E, DAC-08H; θ _a = 0 až +70 °C			
Rozlišení	= jmen. 8;	b	
Monotonie	= jmen. 8;	b	
Nelinearita			
θ _a = 0 až +70 °C			
DAC-08A, DAC-08H	E _r = ± 0,1	ΔFS	
DAC-08, DAC-08E	E _r = ± 0,19	ΔFS	
DAC-08C	E _r = ± 0,39	ΔFS	
Doba ustálení			
na 1/2 LSR, θ _a = 25 °C			

všechny bity sepnuty nebo rozestřeny

součástky PMI

Doba zpoždění přechodu signálu

θ_a = 25 °C

každý bit

všechny bity sepnuty

Teplotní součinitel výstupního

proudu pro plný rozsah

součástky PMI: DAC-08C, E

Pružnost výstupního napětí

změna proudu I_{PS} < 1/2 LSR,

R_O > 20 kΩ

Proud při plném rozsahu

U_{REF} = 10,000 V, R₁₄, R₁₅ = 5 kΩ,

θ_a = 25 °C

DAC-08A, DAC-08H

DAC-08, DAC-08E, DAC-08C

Symetrie při plném rozsahu

rozíl výstupních proudů

I_{4 FR} - I_{2 FR}

DAC-08A, DAC-08H

DAC-08, DAC-08E

DAC-08C

Proud v nule rozsahu

DAC-08A, DAC-08H

DAC-08, DAC-08E

DAC-08C

Rozsah výstupního proudu

-U_{CC} = 5 V

-U_{CC} = 8 až 18 V

součástky PMI: R₁₄, R₁₅ = 5 kΩ

U_{REF} = +15 V, -U_{CC} = 10 V

U_{REF} = +25 V, -U_{CC} = 12 V

Logické úroveň číslicových vstupů

U_{LC} = 0 V

úroveň L

úroveň H

Proud logických vstupů

U_{LC} = 0 V

úroveň L, U_I = -10 až +0,8 V

úroveň H, U_I = +2,0 až +18 V

Rozkmit napětí logických vstupů

-U_{CC} = 15 V

Rozsah prahového logického napětí

U_{CC} = ± 15 V

Proud pro předpětí referenčního

vstupu

Rychlost přechodu proudu referenčního

vstupu

Citlivost výstupního proudu I_{PS}

na změnu napájecího napětí

t_S = jmen. 85 ns

t_S = jmen. 85; ≤ 150 ns

t_{PLH} = jmen. 35; ≤ 60 ns

t_{PHL} = jmen. 35; ≤ 60 ns

TKI_{PS} = jmen. ±10; ≤ ±50 ppm/K

TKI_{PS} = jmen. ±10; ≤ ±80 ppm/K

U_{CC} = -10 až +18 V

I_{4 FR} = jmen. 1,992; 1,984 až 2,000 mA

I_{4 FR} = jmen. 1,99; 1,94 až 2,04 mA

I_{FRS} = jmen. ± 0,5; ≤ ± 4 μA

I_{FRS} = jmen. ± 1,0; ≤ ± 8 μA

I_{FRS} = jmen. ± 2,0; ≤ ± 16 μA

I_{ZS} = jmen. 0,1; ≤ 1,0 μA

I_{ZS} = jmen. 0,2; ≤ 2,0 μA

I_{ZS} = jmen. 0,2; ≤ 4,0 μA

I_{OR1} = 0 až 2,1 mA

I_{OR2} = 0 až 4,2 mA

I_{OR1} = 2,1 mA

I_{OR2} = 4,2 mA

U_{IL} = 0,8 V

U_{IH} = 2,0 V

I_{IL} = jmen. -2,0; ≤ -10 μA

I_{IH} = jmen. 0,002; ≤ 10 μA

U_{IS} = -10 až +18 V

U_{THR} = -10 až +13,5 V

I₁₅ = jmen. -1,0; ≤ -3 μA

ΔI/Δt = jmen. 8; ≤ 4 mA/μs

$I_{REF} = 1 \text{ mA}$	$PSSI_{FS+} = \text{jmen. } \pm 0,0003; \leq \pm 0,01 \text{ } \%$	
$+U_{CC} = 4,5 \text{ až } 18 \text{ V}$	$PSSI_{FS-} = \text{jmen. } \pm 0,002; \leq \pm 0,01 \text{ } \%$	
$-U_{CC} = 4,5 \text{ až } 18 \text{ V}$		
Spotřeba napájecího proudu		
$U_{CC} = \pm 5 \text{ V}, I_{REF} = 1,0 \text{ mA}$	$I_{CC+} = \text{jmen. } 2,3; \leq 3,8$	mA
	$I_{CC-} = \text{jmen. } -4,3; \leq -5,8$	mA
$+U_{CC} = +5 \text{ V}, -U_{CC} = 15 \text{ V},$ $I_{REF} = 2 \text{ mA}$	$I_{CC+} = \text{jmen. } 2,4; \leq 3,8$	mA
	$I_{CC-} = \text{jmen. } -6,4; \leq -7,8$	mA
$U_{CC} = \pm 15 \text{ V}, I_{REF} = 2 \text{ mA}$	$I_{CC+} = \text{jmen. } 2,5; \leq 3,8$	mA
	$I_{CC-} = \text{jmen. } -6,5; \leq -7,8$	mA
Ztrátový výkon		
$U_{CC} = \pm 5 \text{ V}, I_{REF} = 1 \text{ mA}$	$P_D = \text{jmen. } 33; \leq 48$	mW
$+U_{CC} = 5 \text{ V}, -U_{CC} = 15 \text{ V},$ $I_{REF} = 2 \text{ mA}$	$P_D = \text{jmen. } 108; \leq 136$	mW
$U_{CC} = \pm 15 \text{ V}, I_{REF} = 2 \text{ mA}$	$P_D = \text{jmen. } 135; \leq 174$	mW
Šumový výstupní proud		
$I_{REF} = 2 \text{ mA}$, Jan obvody PMI	$I_{ON} = \text{jmen. } 25$	nA

1. Výstupní charakteristické údaje platí pro oba výstupy I_O a \bar{I}_O .

Tab. 11. Elektrické údaje převodníků řady DAC-08, NE5007, NE5008, NE5009, SE5008, SE5009 firmy Siemens

Mezní údaje		
Napájecí napětí vlní $-U_{CC}$	$+U_{CC} \leq 36$	V
Napětí logických vstupů	$U_{I5} \text{ až } U_{I12} = -U_{CC} \text{ až } -U_{CC} + 36$	V
Logické prahové napětí		
vývod 1	$U_{LC} = -U_{CC} \text{ až } +U_{CC}$	V
Analogový výstupní proud		
$-U_{CC} = 15 \text{ V}$	$I_O = 4,25$	mA
Výstupní napětí	$U_O = -U_{CC} \text{ až } +18 \text{ V}$	V
Vstupní napětí referenčního zesilovače		
vývod 14	$U_{14 REF} = -U_{CC} \text{ až } +U_{CC}$	V
vývod 15	$U_{15 REF} = -U_{CC} \text{ až } +U_{CC}$	V
Vstupní rozdílové napětí referenčních vstupů		
vývod 14 vlní vývodu 15	$U_{REF D} \leq \pm 18$	V
Proud referenčního vstupu	$I_{14 REF} \leq 5$	mA
Ztrátový výkon celkový		
obvody v keramickém pouzdru F	$P_{tot} \leq 1190$	mW
obvody v plastovém pouzdru N	$P_{tot} \leq 1450$	mW
obvody v plastovém pouzdru SO	$P_{tot} \leq 1090$	mW
Rozsah provozní teploty okolí		
DAC-08, DAC-08A, SE5008, SE5009	$\theta_a = -55 \text{ až } +125$	$^{\circ}\text{C}$
DAC-08C, DAC-08E, DAC-08H, NE5007, NE5008, NE5009	$\theta_a = 0 \text{ až } +70$	$^{\circ}\text{C}$
Rozsah skladovací teploty	$\theta_{stg} = -65 \text{ až } +150$	$^{\circ}\text{C}$
Snížení ztrátového výkonu		
$\theta_a > 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$		
součástky v keramickém pouzdru F	$R_{\theta} = 9,5$	mW/K
součástky v plastovém pouzdru N	$R_{\theta} = 11,6$	mW/K
součástky v plastovém pouzdru SO	$R_{\theta} = 8,7$	mW/K
Teplota vývodů při pájení	$\theta_L \leq 300$	$^{\circ}\text{C}$
Charakteristické údaje		
Platí při $U_{CC} = \pm 15 \text{ V}, I_{REF} = 2,0 \text{ mA}$, není-li uvedeno jinak.		
DAC-08, DAC-08A, SE5008, SE5009: $\theta_a = -55 \text{ až } +125 \text{ }^{\circ}\text{C}$		
DAC-08C, DAC-08E, DAC-08H, NE5007, NE5008, NE5009: $\theta_a = 0 \text{ až } +70 \text{ }^{\circ}\text{C}$		
Rozlišení	$= \text{jmen. } 8$	b
Monotonie	$= \text{jmen. } 8$	b
Relativní přesnost		
$\theta_a = 0 \text{ až } +70 \text{ }^{\circ}\text{C}$		
DAC-08A, DAC-08H, NE5009, SE5009	$E_r \leq \pm 0,1$	%FS
DAC-08, DAC-08E, NE5008, SE5008	$E_r \leq \pm 0,19$	%FS
DAC-08C, NE5007	$E_r \leq \pm 0,39$	%FS
Diferenční nelinearita		
$\theta_a = 0 \text{ až } +70 \text{ }^{\circ}\text{C}$		
DAC-08A, DAC-08H, NE5009, SE5009	$\leq \text{jmen. } \pm 0,1; \leq \pm 0,19$	%FS
DAC-08, DAC-08E, NE5008, SE5008	$\leq \pm 0,19$	%FS
DAC-08C, NE5007	$\leq \pm 0,39$	%FS

Doba ustálení		
na 1/2 LSB, $\theta_a = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$		
všechny bity aspnuty nebo rozepnuty	$t_S = \text{jmen. } 85; \leq 135$	ns
NE5007-NE5009, SE5008, SE5009	$t_S = \text{jmen. } 100$	ns
Teplotní součinitel výstupního proudu		
pro plný rozsah I_{FS}		
DAC-08A, DAC-08H	$TKI_{FS} = \text{jmen. } \pm 10$	ppm/K
NE5009, SE5009	$TKI_{FS} = \text{jmen. } \pm 10; \leq 50$	ppm/K
Pružnost výstupního napětí		
změna proudu pro $I_{FS} < 1/2 \text{ LSB}$	$U_{OC} = -10 \text{ až } +18$	V
Proud při plném rozsahu I_{FS}		
$U_{REF} = 10,000 \text{ V}, R_{14}, R_{15} = 5 \text{ k}\Omega,$ $\theta_a = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$		
DAC-08A, DAC-08H, NE5009, SE5009	$I_{4RF} = \text{jmen. } 1,992; 1,984 \text{ až } 2,000 \text{ V}$	
DAC-08, DAC-08E, DAC-08C, NE5007, NE5008, SE5008	$I_{4FR} = \text{jmen. } 1,99; 1,94 \text{ až } 2,04 \text{ mA}$	
Symetrie při plném rozsahu I_{FS}		
rozdíly výstupních proudů		
$I_{4FR} - I_{2FR}$		
DAC-08A, DAC-08H, NE5009, SE5009	$I_{FRS} = \text{jmen. } \pm 0,5; \leq \pm 4$	μA
DAC-08, DAC-08E, NE5008, SE5008	$I_{FRS} = \text{jmen. } \pm 1,0; \leq \pm 8$	μA
DAC-08C, NE5007	$I_{FRS} = \text{jmen. } \pm 2,0; \leq \pm 16$	μA
Proud v nule rozsahu		
DAC-08A, DAC-08H, NE5009, SE5009	$I_{ZS} = \text{jmen. } 0,1; \leq 1,0$	μA
DAC-08, DAC-08E, NE5008, SE5008	$I_{ZS} = \text{jmen. } 0,2; \leq 2,0$	μA
DAC-08C, NE5007	$I_{ZS} = \text{jmen. } 0,2; \leq 4,0$	μA
Rozsah výstupního proudu		
$R_{14}, R_{15} = 5 \text{ k}\Omega$		
$U_{REF} = +15 \text{ V}, -U_{CC} = 10 \text{ V}$	$I_{OR1} \leq 2,1$	mA
$U_{REF} = +25 \text{ V}, -U_{CC} = 12 \text{ V}$	$I_{OR2} \leq 4,2$	mA
Logické úrovně číslicových vstupů		
$U_{LC} = 0 \text{ V}$		
úroveň L	$U_{IL} \leq 0,8$	V
úroveň H	$U_{IH} \geq 2,0$	V
Proud logických vstupů		
$U_{LC} = 0 \text{ V}$		
úroveň L, $U_I = -10 \text{ až } +0,8 \text{ V}$	$I_{IL} = \text{jmen. } -2,0; \leq -10$	μA
úroveň H, $U_I = +2,0 \text{ až } +18 \text{ V}$	$I_{IH} = \text{jmen. } 0,002; \leq 10$	μA
Rozkm. napětí logických vstupů		
$-U_{CC} = 15 \text{ V}$	$U_{IS} = -10 \text{ až } +18$	V
Rozsah prahového logického napětí		
$U_{CC} = \pm 15 \text{ V}$	$U_{THR} = -10 \text{ až } +13,5$	V
Proud pro předpětí referenčního vstupu	$I_{15} = \text{jmen. } -1,0; \leq -3$	μA
Rychlost přeběhu proudu referenčního vstupu	$di/dt = \text{jmen. } 8; \geq 4$	mA/ μs
Citlivost výstupního proudu I_{FS} na změnu napájecího napětí		
$I_{REF} = 1 \text{ mA}$		
$+U_{CC} = 4,5 \text{ až } 5,5 \text{ V}, -U_{CC} = 15 \text{ V}$	$PSSI_{FS+} = \text{jmen. } \pm 0,0003; \leq \pm 0,01 \text{ } \%$	
$+U_{CC} = 13,5 \text{ až } 16,5 \text{ V},$ $-U_{CC} = 15 \text{ V}$	$PSSI_{FS+} = \text{jmen. } \pm 0,003; \leq \pm 0,01 \text{ } \%$	
$-U_{CC} = 4,5 \text{ až } 5,5 \text{ V}, +U_{CC} = 15 \text{ V}$	$PSSI_{FS-} = \text{jmen. } \pm 0,002; \leq \pm 0,01 \text{ } \%$	
$-U_{CC} = 13,5 \text{ až } 16,5 \text{ V},$ $+U_{CC} = 15 \text{ V}$	$PSSI_{FS-} = \text{jmen. } \pm 0,002; \leq \pm 0,01 \text{ } \%$	
Spotřeba napájecího proudu		
$U_{CC} = \pm 5 \text{ V}, I_{REF} = 1,0 \text{ mA}$	$I_{CC+} = \text{jmen. } 3,1; 2,3 \text{ }^2; \leq 3,8$	mA
	$I_{CC-} = \text{jmen. } -4,3; \leq -5,8$	mA
$+U_{CC} = 5 \text{ V}, -U_{CC} = 15 \text{ V},$ $I_{REF} = 2,0 \text{ mA}$	$I_{CC+} = \text{jmen. } 3,1; 2,4 \text{ }^2; \leq 3,8$	mA
	$I_{CC-} = \text{jmen. } -7,1; -6,4 \text{ }^2; \leq -7,8$	mA
$U_{CC} = \pm 15 \text{ V}, I_{REF} = 2,0 \text{ mA}$	$I_{CC+} = \text{jmen. } 3,2; 2,5 \text{ }^2; \leq 3,8$	mA
	$I_{CC-} = \text{jmen. } -7,2; -6,5 \text{ }^2; \leq -7,8$	mA
Ztrátový výkon		
$U_{CC} = \pm 5 \text{ V}, I_{REF} = 1 \text{ mA}$	$P_D = \text{jmen. } 37; 33 \text{ }^2; \leq 48$	mW
$+U_{CC} = 5 \text{ V}, -U_{CC} = 15 \text{ V},$ $I_{REF} = 2,0 \text{ mA}$	$P_D = \text{jmen. } 122; 108 \text{ }^2; \leq 136$	mW
$U_{CC} = \pm 15 \text{ V}, I_{REF} = 2,0 \text{ mA}$	$P_D = \text{jmen. } 156; 135 \text{ }^2; \leq 174$	mW

1. Výstupní charakteristické údaje platí pro oba výstupy I_O a \bar{I}_O .

2. Platí pro NE5007 až NE5009, SE5008, SE5009

Tah. 12. Elektrické údaje převodníků D/A 8 b řady AD DAC-08 Analog Devices, DAC-08 Raytheon

Mezní údaje		
Napájecí napětí kladné vůči $-U_{CC}$	$+U_{CC} \leq 36$	V
Napětí logických vstupů	$U_I = -U_{CC} \text{ až } -U_{CC} + 36$	V
Napětí vstupu LC	$U_{LC} = -U_{CC} \text{ až } +U_{CC}$	V
Napětí vstupů referenčního zesilovače		
vývod 14	$U_{14 \text{ REF}} = -U_{CC} \text{ až } +U_{CC}$	V
vývod 15	$U_{15 \text{ REF}} = -U_{CC} \text{ až } +U_{CC}$	V
Diferenční napětí vstupů referenčního zesilovače		
vývod 14 vůči vývodu 15	$U_{14/15} \leq \pm 18$	V
Proud vstupu referenčního zesilovače - vývod 14	$I_{14 \text{ REF}} \leq 5$	mA
Výstupní proud analogový		
DAC-08 Raytheon	$I_O \leq 4$	mA
Ztrátový výkon celkový		
součástky Analog Devices	$P_{\text{tot}} \leq 500$	mW
součástky Raytheon, $\theta_a = 50^\circ \text{C}$:		
DAC-08CN, DAC-08EN, DAC-08HN	$P_{\text{tot}} \leq 555$	mW
DAC-08D, DAC-08D/883B, DAC-08AD, DAC-08AD/883B	$P_{\text{tot}} \leq 1042$	mW
Teplotný odpor přechod-pouzdro		
součástky Raytheon		
DAC-08D, D/883B, DAC-08AD, AD/883B	$R_{\text{thjc}} = 60$	K/W
Teplotný odpor přechod-okolí		
součástky Raytheon		
DAC-08CN, DAC-08EN, DAC-08HN	$R_{\text{thja}} = 135$	K/W
DAC-08D, DAC-08D/883B, DAC-08AD, DAC-08AD/883B	$R_{\text{thja}} = 120$	K/W
Snížení ztrátového výkonu		
$\theta_a > 100^\circ \text{C}$	$\alpha = 10$	mW/K
součástky Raytheon, $\theta_a > 50^\circ \text{C}$		
DAC-08CN, DAC-08EN, DAC-08HN	$\alpha = 7,41$	mW/K
DAC-08D, DAC-08D/883B, DAC-08AD, DAC-08AD/883B	$\alpha = 6,38$	mW/K
Rozsah dovolené pracovní teploty okolí		
AD DAC-08, AD DAC-08A, AD DAC-08D, AD DAC-08AD, DAC-08D, DAC-08D/883B, DAC-08AD, DAC-08AD/883B	$\theta_a = -55 \text{ až } +125$	$^\circ \text{C}$
AD DAC-08E, AD DAC-08ED, AD DAC-08C, AD DAC-08CD, AD DAC-08H, AD DAC-08HD		
DAC-08CN, DAC-08EN, DAC-08HN	$\theta_a = 0 \text{ až } +70$	$^\circ \text{C}$
Teplota přechodu		
DAC-08CN, DAC-08EN, DAC-08HN	$\theta_j \leq 125$	$^\circ \text{C}$
DAC-08D, DAC-08D/883B, DAC-08AD, DAC-08AD/883B	$\theta_j \leq 175$	$^\circ \text{C}$
Rozsah skladovací teploty	$\theta_{\text{stg}} = -65 \text{ až } +150$	$^\circ \text{C}$
Teplota vývodu při pájení	$\theta_L \leq 300$	$^\circ \text{C}$
Charakteristické údaje		
Platí při $U_{CC} = \pm 15 \text{ V}$, $I_{\text{REF}} = 2 \text{ mA}$, není-li uvedeno jinak.		
AD DAC-08, AD DAC-08A, DAC-08, DAC-08A: $\theta_a = -55 \text{ až } +125^\circ \text{C}$		
AD DAC-08, AD DAC-08E, AD DAC-08 H, DAC-08C, DAC-08E, DAC-08H: $\theta_a = 0 \text{ až } +70^\circ \text{C}$		
Rozlišení	$= \text{jmen. } 8$	b
Monotonie	$= \text{jmen. } 8$	b
Nelinearita		
AD DAC-08, AD DAC-08E, DAC-08, DAC-08E	$E_r \leq \pm 0,19$	%FS
AD DAC-08A, AD DAC-08H, DAC-08A, DAC-08H	$E_r \leq \pm 0,10$	%FS
AD DAC-08C, DAC-08C	$E_r \leq \pm 0,39$	%FS
Doba ustálení		
na 1/2 LSB	$t_s = \text{jmen. } 85; \leq 135$	ns
AD DAC-08C, AD DAC-08E, AD DAC-08ED	$t_s = \text{jmen. } 85; \leq 150$	ns
DAC-08, DAC-08CD	$t_s = \text{jmen. } 85; \leq 150$	ns
Doba zpoždění přechodu signálu		
$\theta_a = 25^\circ \text{C}$		
všechny bity sepnuty	$t_{\text{PLH}}, t_{\text{PHL}} = \text{jmen. } 35; \leq 60$	ns
každý bit	$t_{\text{PLH}}, t_{\text{PHL}} = \text{jmen. } 35; \leq 60$	ns

Teplotný součinitel výstupního proudu I_{FS}	$\text{TKI}_{\text{FS}} = \text{jmen. } \pm 10; \leq \pm 50$	ppm/K
AD DAC-08C, AD DAC-08CD, DAC-08, DAC-08C	$\text{TKI}_{\text{FS}} = \text{jmen. } \pm 10; \leq \pm 80$	ppm/K
Fružnost výstupního napětí		
$\Delta I_{\text{FS}} \leq 1/2 \text{ LSB}$, $R_0 > 20 \text{ M}\Omega$	$U_{\text{OC}} = -10 \text{ až } +16$	V
Výstupní proud pro plný rozsah I_{FS}		
$U_{\text{REF}} = 10,000 \text{ V}$, $R_{14}, R_{15} = 5 \text{ k}\Omega$, $\theta_a = 25^\circ \text{C}$	$I_{\text{FS4}} = \text{jmen. } 1,99; 1,94 \text{ až } 2,04 \text{ mA}$	
AD DAC-08A, AD DAC-08H, AD DAC-08HD, AD DAC-08AD, DAC-08, DAC-08H	$I_{\text{FS4}} = \text{jmen. } 1,992; 1,984 \text{ až } 2,0 \text{ mA}$	
Symetrie výstupních proudů I_{FS}		
$I_{\text{FS4}} - I_{\text{FS2}}$		
AD DAC-08, AD DAC-08E, AD DAC-08ED, AD DAC-08D, DAC-08, DAC-08E	$I_{\text{FSS}} = \text{jmen. } \pm 1; \leq \pm 8$	μA
AD DAC-08A, AD DAC-08H, AD DAC-08HD, AD DAC-08AD, DAC-08A, DAC-08H	$I_{\text{FSS}} = \text{jmen. } \pm 0,5; \leq \pm 4$	μA
AD DAC-08C, AD DAC-08CD, DAC-08C	$I_{\text{FSS}} = \text{jmen. } \pm 2,0; \leq \pm 16$	μA
Výstupní proud pro nulu rozsahu		
AD DAC-08, AD DAC-08E, AD DAC-08ED, AD DAC-08D, DAC-08, DAC-08E	$I_{\text{ZS}} = \text{jmen. } 0,2; \leq 2$	μA
AD DAC-08A, AD DAC-08H, AD DAC-08HD, AD DAC-08AD, DAC-08A, DAC-08H	$I_{\text{ZS}} = \text{jmen. } 0,1; \leq 1$	μA
AD DAC-08C, AD DAC-08CD, DAC-08C	$I_{\text{ZS}} = \text{jmen. } 0,2; \leq 4$	μA
Rozsah výstupního proudu		
$-U_{CC} = 5 \text{ V}$	$I_{\text{FSR}} = \text{jmen. } 2,0; 0 \text{ až } 2,1$	mA
$-U_{CC} = 7 \text{ až } 18 \text{ V}$	$I_{\text{FSR}} = \text{jmen. } 2,0; 0 \text{ až } 4,2$	mA
součástky Raytheon:		
$-U_{CC} = 10 \text{ V}$, $U_{\text{REF}} = 15 \text{ V}$	$I_{\text{FSR}} \leq 2,1$	mA
$-U_{CC} = 12 \text{ V}$, $U_{\text{REF}} = 25 \text{ V}$	$I_{\text{FSR}} \leq 4,2$	mA
Vstupní napětí logických vstupů		
úroveň L, $U_{\text{LC}} = 0 \text{ V}$	$U_{\text{IL}} \leq 0,8$	V
úroveň H, $U_{\text{LC}} = 0 \text{ V}$	$U_{\text{IH}} \leq 2,0$	V
Vstupní proud logických vstupů		
$U_{\text{LC}} = 0 \text{ V}$		
úroveň L, $U_I = -10 \text{ až } +0,8 \text{ V}$	$I_{\text{IL}} = \text{jmen. } -2; \leq -10$	μA
úroveň H, $U_I = 2 \text{ až } 18 \text{ V}$	$I_{\text{IH}} = \text{jmen. } 0,002; \leq 10$	μA
Rozkmit napětí logických vstupů		
$-U_{CC} = 15 \text{ V}$	$U_{\text{IS}} = -10 \text{ až } +18$	V
Rozsah prahového napětí logických vstupů		
$U_{\text{CC}} = \pm 15 \text{ V}$	$U_{\text{THR}} = -10 \text{ až } +13,5$	V
Proud pro předpětí referenčního vstupu	$I_{15 \text{ REF}} = \text{jmen. } -1; +0,1 \text{ až } -3$	μA
Rychlost přeběhu proudu referenčního vstupu	$dI/dt = \text{jmen. } 8; \geq 4$	mA/ μs
Citlivost výstupního proudu I_{FS} na změnu napájecího napětí		
$I_{\text{REF}} = 1 \text{ mA}$		
$+U_{CC} = 4,5 \text{ až } 18 \text{ V}$	$\text{PSSI}_{\text{FS}+} = \text{jmen. } +0,0003; \leq \pm 0,01 \text{ \%}$	%/%
$-U_{CC} = 4,5 \text{ až } 18 \text{ V}$	$\text{PSSI}_{\text{FS}-} = \text{jmen. } \pm 0,002; \leq \pm 0,01 \text{ \%}$	%/%
Spotřeba napájecího proudu		
z kladného zdroje	$+I_{\text{CC}} = \text{jmen. } 2,3; 0,4 \text{ až } 3,8$	mA
ze záporného zdroje	$-I_{\text{CC}} = \text{jmen. } 6,4; 0,8 \text{ až } 7,8$	mA
součástky Raytheon DAC-08:		
$U_{\text{CC}} = \pm 5 \text{ V}$, $I_{\text{REF}} = 1 \text{ mA}$	$+I_{\text{CC}} = \text{jmen. } 2,3; \leq 3,8$	mA
	$-I_{\text{CC}} = \text{jmen. } 4,3; \leq 5,8$	mA
$+U_{CC} = 5 \text{ V}$, $-U_{CC} = 15 \text{ V}$, $I_{\text{REF}} = 2 \text{ mA}$	$+I_{\text{CC}} = \text{jmen. } 2,4; \leq 3,8$	mA
	$-I_{\text{CC}} = \text{jmen. } 6,4; \leq 7,8$	mA
$U_{\text{CC}} = \pm 15 \text{ V}$, $I_{\text{REF}} = 2 \text{ mA}$	$+I_{\text{CC}} = \text{jmen. } 2,5; \leq 3,8$	mA
	$-I_{\text{CC}} = \text{jmen. } 6,5; \leq 7,8$	mA
Ztrátový výkon		
$U_{\text{CC}} = \pm 5 \text{ V}$, $I_{\text{REF}} = 1 \text{ mA}$	$P = \text{jmen. } 33; \leq 48$	mW
$+U_{CC} = 5 \text{ V}$, $-U_{CC} = 15 \text{ V}$, $I_{\text{REF}} = 2 \text{ mA}$	$P = \text{jmen. } 108; \leq 136$	mW
$U_{\text{CC}} = \pm 15 \text{ V}$, $I_{\text{REF}} = 2 \text{ mA}$	$P = \text{jmen. } 135; \leq 174$	mW

Tab.13. Elektrické údaje převodníků D/A 8 b řady μ AO801 Fairchild

Mezní údaje		
Napájecí napětí kladné vůči $-U_{CC}$	$+U_{CC} \leq 36$	V
Napětí logických vstupů	$U_I = -U_{CC} \text{ až } -U_{CC} + 36$	V
Napětí vstupu LC	$U_{LC} = -U_{CC} \text{ až } +U_{CC}$	V
Napětí vstupů referenčního zesilovače		
vývod 14	$U_{14 \text{ REF}} = -U_{CC} \text{ až } +U_{CC}$	V
vývod 15	$U_{15 \text{ REF}} = -U_{CC} \text{ až } +U_{CC}$	V
Diferenční napětí vstupů referenčního zesilovače		
vývod 14 vůči vývodu 15	$U_{14/15} \leq \pm 18$	V
Proud vstupu referenčního zesilovače		
vývod 14	$I_{14 \text{ REF}} \leq 5$	mA
Ztrátový výkon celkový	$P_{\text{tot}} \leq 500$	mW
Snížení ztrátového výkonu součástky v keramickém pouzdru $\theta_a \geq 90^\circ\text{C}$	$\theta_a = 8,3$	mW/K
Rozsah dovolené pracovní teploty okolí		
μ AO801DM	$\theta_a = -55 \text{ až } +125$	$^\circ\text{C}$
μ AO801EDC, μ AO801CDC, μ AO801EPC, μ AO801CPC	$\theta_a = 0 \text{ až } +70$	$^\circ\text{C}$
Rozsah skladovací teploty	$\theta_{\text{stg}} = -65 \text{ až } +150$	$^\circ\text{C}$
Teplota vývodů při pájení součástek v pouzdru:		
keramickém, $t < 60 \text{ s}$	$\theta_L \leq 300$	$^\circ\text{C}$
plastovém, $t < 10 \text{ s}$	$\theta_L \leq 260$	$^\circ\text{C}$
Charakteristické údaje		
Platí při $U_{CC} = \pm 15 \text{ V}$, $I_{\text{REF}} = 2 \text{ mA}$, není-li uvedeno jinak.		
μ AO801: $\theta_a = -55 \text{ až } +125^\circ\text{C}$; μ AO801C, μ AO801E: $\theta_a = 0 \text{ až } +70^\circ\text{C}$		
Rozlišení	$= 8$	b
Monotonie	$= 8$	b
Nelinearita		
μ AO801, μ AO801E	$E_r \leq \pm 0,19$	%FS
μ AO801C	$E_r \leq \pm 0,39$	%FS
Doba ustálení		
na 1/2 LSB, $\theta_a = 25^\circ\text{C}$		
všechry bity aspnuty nebo rozrojeni		
μ AO801	$t_S = \text{jmen. } 85; \leq 135$	ns
μ AO801C, μ AO801E	$t_S = \text{jmen. } 85; \leq 150$	ns
Doba zpoždění průchodu signálu $\theta_a = 25^\circ\text{C}$		
každý bit	$t_{\text{PLH}} = \text{jmen. } 35; \leq 60$	ns
všechry bity sepnuty	$t_{\text{PHL}} = \text{jmen. } 35; \leq 60$	ns
Teplotní součinitel výstupního proudu I_{FS}	$\text{TKI}_{\text{FS}} = \text{jmen. } \pm 10; \leq \pm 50$	ppm/K
Pružnost výstupního napětí		
změna $I_{\text{FS}} \approx 1/2 \text{ LSB}$, $R_0 > 20 \text{ M}\Omega$	$U_{CC} = -10 \text{ až } +18$	V
Výstupní proud pro plný rozsah $U_{\text{REF}} = 10,000 \text{ V}$, $R_{14}, R_{15} = 5 \text{ k}\Omega$, $\theta_a = 25^\circ\text{C}$	$I_{\text{FS4}} = \text{jmen. } 1,990; 1,94 \text{ až } 2,04 \text{ mA}$	mA
Symetrie výstupních proudů pro plný rozsah $I_{\text{FS4}} - I_{\text{FS2}}$		
μ AO801, μ AO801E	$I_{\text{FSS}} = \text{jmen. } \pm 1; \leq \pm 8$	μA
μ AO802C	$I_{\text{FSS}} = \text{jmen. } \pm 2; \leq \pm 16$	μA
Výstupní proud pro nulu rozsahu		
μ AO801, μ AO801E	$I_{\text{ZS}} = \text{jmen. } 0,2; \leq 2,0$	μA
μ AO801C	$I_{\text{ZS}} = \text{jmen. } 0,2; \leq 4,0$	μA
Rozsah výstupního proudu		
$R_{14}, R_{15} = 5 \text{ k}\Omega$		
$U_{\text{REF}} = +15 \text{ V}$, $-U_{CC} = 10 \text{ V}$	$I_{\text{FSR}} \leq 2,1$	mA
$U_{\text{REF}} = +25 \text{ V}$, $-U_{CC} = 12 \text{ V}$	$I_{\text{FSR}} \leq 4,2$	mA

Vstupní napětí logických vstupů		
$U_{LC} = 0 \text{ V}$, úroveň L	$U_{IL} \leq 0,8$	V
$U_{LC} = 0 \text{ V}$, úroveň H	$U_{IH} \geq 2,0$	V
Vstupní proud logických vstupů		
$U_{LC} = 0 \text{ V}$		
$U_I = -10 \text{ až } +0,8 \text{ V}$	$I_{IL} = \text{jmen. } -2; \leq -10$	μA
$U_I = 2,0 \text{ až } 18 \text{ V}$	$I_{IH} = \text{jmen. } 0,002; \leq 10$	μA
Rozkmit vstupního napětí logických vstupů		
$-U_{CC} = 15 \text{ V}$	$U_{IS} = -10 \text{ až } +18$	V
Rozsah logické prahové úrovně		
$U_{CC} = \pm 15 \text{ V}$	$U_{\text{THR}} = -10 \text{ až } +13,5$	V
Proud pro předpětí referenčního vstupu		
	$I_{15 \text{ REF}} = -1,0; \leq -3,0$	μA
Rychlost přechodu proudu referenčního vstupu		
	$dI/dt = \text{jmen. } 8; \geq 4$	mA/ μs
Citlivost výstupního proudu I_{FS} na změnu napájecího napětí		
$I_{\text{REF}} = 1 \text{ mA}$		
$+U_{CC} = 4,5 \text{ V}$ na 18 V	$\text{PSSI}_{\text{FS}+} = \text{jmen. } 0,0003; \leq 0,01$	%/%
$-U_{CC} = 4,5 \text{ V}$ na 18 V	$\text{PSSI}_{\text{FS}-} = \text{jmen. } 0,002; \leq 0,01$	%/%
Spotřeba napájecího proudu		
$U_{CC} = \pm 5 \text{ V}$, $I_{\text{REF}} = 1 \text{ mA}$	$I_{\text{CC}+} = \text{jmen. } 2,3; \leq 3,8$	mA
	$I_{\text{CC}-} = \text{jmen. } 4,3; \leq 5,8$	mA
$+U_{CC} = 5 \text{ V}$, $-U_{CC} = 15 \text{ V}$, $I_{\text{REF}} = 2 \text{ mA}$	$I_{\text{CC}+} = \text{jmen. } 2,4; \leq 3,8$	mA
	$I_{\text{CC}-} = \text{jmen. } 6,4; \leq 7,8$	mA
$U_{CC} = \pm 15 \text{ V}$, $I_{\text{REF}} = 2 \text{ mA}$	$I_{\text{CC}+} = \text{jmen. } 2,5; \leq 3,8$	mA
	$I_{\text{CC}-} = \text{jmen. } 6,5; \leq 7,8$	mA
Ztrátový výkon		
$U_{CC} = \pm 5 \text{ V}$, $I_{\text{REF}} = 1 \text{ mA}$	$P = \text{jmen. } 33; \leq 48$	mW
$+U_{CC} = 5 \text{ V}$, $-U_{CC} = 15 \text{ V}$, $I_{\text{REF}} = 2 \text{ mA}$	$P = \text{jmen. } 108; \leq 136$	mW
$U_{CC} = \pm 15 \text{ V}$, $I_{\text{REF}} = 2 \text{ mA}$	$P = \text{jmen. } 135; \leq 174$	mW

Tab. 14. Elektrické údaje převodníků D/A 8 b řady DAC0800, DAC0801, DAC0802 firmy National Semiconductor

Mezní údaje		
Napájecí napětí	$U_{CC} \leq \pm 18$	V
Napájecí napětí kladné vůči $-U_{CC}$	$+U_{CC} \leq 36$	V
Napětí logických vstupů	$U_I = -U_{CC} \text{ až } -U_{CC} + 36$	V
Napětí vstupu LC	$U_{LC} = -U_{CC} \text{ až } +U_{CC}$	V
Napětí vstupů referenčního zesilovače		
vývod 14	$U_{14 \text{ REF}} = -U_{CC} \text{ až } +U_{CC}$	V
vývod 15	$U_{15 \text{ REF}} = -U_{CC} \text{ až } +U_{CC}$	V
Diferenční napětí vstupů referenčního zesilovače		
vývod 14 vůči vývodu 15	$U_{14/15} = -U_{CC} \text{ až } +U_{CC}$	V
Proud vstupu referenčního zesilovače		
vývod 14	$I_{14 \text{ REF}} \leq 5$	mA
Ztrátový výkon celkový	$P_{\text{tot}} \leq 500$	mW
Teplotní odpor přechodu-okolí součástek v pouzdru		
keramickém J, D	$R_{\text{thje}} = 100$	K/W
plastovém N	$R_{\text{thje}} = 175$	K/W
Teplota přechodu	$\theta_j \leq 125$	$^\circ\text{C}$
Rozsah dovolené pracovní teploty		
okolí		
DAC0800L, DAC0802L	$\theta_a = -55 \text{ až } +125$	$^\circ\text{C}$
DAC0800LC, DAC0801LC, DAC0802LC	$\theta_a = 0 \text{ až } +70$	$^\circ\text{C}$
Rozsah skladovací teploty	$\theta_{\text{stg}} = -65 \text{ až } +150$	$^\circ\text{C}$
Teplota vývodů při pájení	$\theta_L \leq 300$	$^\circ\text{C}$
Charakteristické údaje		
Platí při $U_{CC} = \pm 15 \text{ V}$, $I_{\text{REF}} = 2 \text{ mA}$, není-li uvedeno jinak.		
DAC0800L, DAC0802L: $\theta_a = -55 \text{ až } +125^\circ\text{C}$ DAC0800LC, DAC0801LC, DAC0802LC: $\theta_a = 0 \text{ až } +70^\circ\text{C}$		
Rozlišení	$= 8$	b
Monotonie	$= 8$	b

Nelinearita		
DAC0802L, DAC0802LC	$E_r = \pm 0,10$	2FS
DAC0800L, DAC0800LC	$E_r = \pm 0,19$	2FS
DAC0801LC	$E_r = \pm 0,39$	2FS
Doba ustálení		
na 1/2 LSP, $\theta_a = 25^\circ\text{C}$		
všechny bity sepnuty nebo rozpojeny		
DAC0800L	$t_S = \text{jmen. } 100; \leq 135$	ns
DAC0800LC	$t_S = \text{jmen. } 100; \leq 150$	ns
Doba zpoždění přechodu signálu		
$\theta_a = 25^\circ\text{C}$		
každý bit		
všechny bity sepnuty		
Teplotní součinitel výstupního proudu I_{FS}		
DAC0801LC	$TKI_{FS} = \text{jmen. } \pm 10; \leq \pm 50$	ppm/K
DAC0801LC	$TKI_{FS} = \text{jmen. } \pm 10; \leq \pm 80$	ppm/K
Pružnost výstupního napětí		
$I_{FS} \leq 1/2 \text{ LSP}, R_0 > 20 \text{ M}\Omega$		
Výstupní proud pro plný rozsah		
$U_{REF} = 10,000 \text{ V}, R_{14}, R_{15} = 5 \text{ k}\Omega, \theta_a = 25^\circ\text{C}$		
DAC0802L, DAC0802LC	$I_{FS4} = \text{jmen. } 1,992; 1,984 \text{ až } 2,0 \text{ mA}$	
DAC0800L, DAC0800LC, DAC0801LC	$I_{FS4} = \text{jmen. } 1,990; 1,94 \text{ až } 2,04 \text{ mA}$	
Symetrie výstupních proudů pro plný rozsah $I_{FS4} - I_{FS2}$		
DAC0802L, DAC0802LC	$I_{FSS} = \text{jmen. } \pm 0,5; \leq \pm 4$	μA
DAC0800L, DAC0800LC	$I_{FSS} = \text{jmen. } \pm 1,0; \leq \pm 8$	μA
DAC0801LC	$I_{FSS} = \text{jmen. } \pm 2,0; \leq \pm 16$	μA
Výstupní proud pro nulu rozsahu		
DAC0802L, DAC0802LC	$I_{ZS} = \text{jmen. } 0,1; \leq 1,0$	μA
DAC0800L, DAC0800LC	$I_{ZS} = \text{jmen. } 0,2; \leq 2,0$	μA
DAC0801LC	$I_{ZS} = \text{jmen. } 0,2; \leq 4,0$	μA
Rozsah výstupního proudu		
$-U_{CC} = 5 \text{ V}$		
$-U_{CC} = 8 \text{ až } 18 \text{ V}$		
Vstupní napětí logických vstupů		
$U_{LC} = 0 \text{ V}$, úroveň L		
$U_{LC} = 0 \text{ V}$, úroveň H		
Vstupní proud logických vstupů		
$U_{LC} = 0 \text{ V}$		
$U_I = -10 \text{ až } +0,8 \text{ V}$		
$U_I = 2,0 \text{ až } +18 \text{ V}$		
Rozkmit vstupního napětí logických vstupů		
$-U_{CC} = 15 \text{ V}$		
Rozsah logické prahové úrovně		
$U_{CC} = \pm 10 \text{ V}$		
Proud pro předpětí referenčního vstupu		
Rychlost přechodu proudu referenčního vstupu		
Citlivost výstupního proudu I_{FS} na změnu napájecího napětí		
$I_{REF} = 1 \text{ mA}$		
$+U_{CC} = 4,5 \text{ až } 18 \text{ V}$		
$-U_{CC} = 4,5 \text{ až } 18 \text{ V}$		
Spotřeba napájecího proudu		
$U_{CC} = \pm 5 \text{ V}, I_{REF} = 1 \text{ mA}$		
$U_{CC} = \pm 15 \text{ V}, I_{REF} = 2 \text{ mA}$		

Tab. 15 . Elektrické údaje převodníka D/A řady DAC-08B firmy Datal

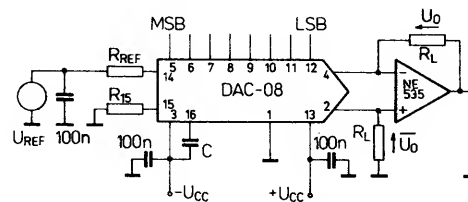
Mezní údaje		
Napájecí napětí kladné vůči $-U_{CC}$	$+U_{CC} \leq 36$	V
Vstupní napětí číslicových vstupů	$U_I = -U_{CC} \text{ až } -U_{CC} + 36$	V
Napětí vstupu LC - vývod 1	$U_{LC} = -U_{CC} \text{ až } +U_{CC}$	V
Napětí referenčního vstupu	$U_{14 \text{ REF}} = -U_{CC} \text{ až } +U_{CC}$	V
vývod 14		

vývod 15		
Proud referenčního vstupu		
vývod 14		
Rozsah provozní teploty okolí		
DAC-08BC		
DAC-08BM		
Rozsah skladovací teploty		
Charakteristické údaje		
Platí při $\theta_a = 25^\circ\text{C}, U_{CC} = \pm 15 \text{ V}, I_{REF} = 2 \text{ mA}$, není-li uvedeno jinak.		
Rozlišení		
Kódování		
unipolární výstup		
bipolární výstup		
Relativní přesnost ($\pm 0,19\%$)		
Nelinearita ($\pm 0,19\%$)		
Diferenční nelinearita ($\pm 0,19\%$)		
Doba ustálení		
na 1/2 LSP při 2 mA		
Doba zpoždění přechodu signálu		
Teplotní součinitel výstupního proudu pro plný rozsah I_{FS}		
Citlivost výstupního proudu I_{FS} na změnu napájecího napětí		
$I_{REF} = 1 \text{ mA}$		
Vstupní napětí logických vstupů		
$U_{LC} = 0 \text{ V}$		
úroveň H, $I_I = 10 \mu\text{A}$		
úroveň L, $I_I = -10 \mu\text{A}$		
Proud referenčního vstupu		
Proud pro předpětí referenčního vstupu		
Rychlost přechodu proudu referenčního vstupu		
Výstupní napětí		
$I_{REF} = 2 \text{ mA}$		
Rozsah výstupního proudu		
$-U_{CC} = 5 \text{ V}$		
$-U_{CC} = 7 \text{ až } 18 \text{ V}$		
Výstupní proud		
všechny bity vypnuty		
Symetrie výstupních proudů		
plný rozsah, $I_{FS4} - I_{FS2}$		
Pružnost výstupního napětí		
Rozsah napájecího napětí		
kladného		
záporného		
Spotřeba napájecího proudu		
$U_{CC} = \pm 5 \text{ V}, I_{REF} = 1 \text{ mA}$		
$+U_{CC} = 5 \text{ V}, -U_{CC} = 15 \text{ V}, I_{REF} = 2 \text{ mA}$		
$U_{CC} = \pm 15 \text{ V}, I_{REF} = 2 \text{ mA}$		
$+U_{CC} = 5 \text{ V}, -U_{CC} = 15 \text{ V}, I_{REF} = 2 \text{ mA}$		
Ztrátový výkon		
$U_{CC} = \pm 5 \text{ V}, I_{REF} = 1 \text{ mA}$		
$+U_{CC} = 5 \text{ V}, -U_{CC} = 15 \text{ V}, I_{REF} = 2 \text{ mA}$		
$U_{CC} = \pm 15 \text{ V}, I_{REF} = 2 \text{ mA}$		

1. Výstupní údaje platí pro oba výstupy I_0 a \bar{I}_0 .

Tab. 16. Kódovací a vyvažovací tabulka převodníků DAC-08 v základním zapojení se zápornými komplementárními výstupy. Platí při $I_{REF} = 2 \text{ mA}$, $R_L = 5 \text{ k}\Omega$, přímé binární kódování

Rozsah	Vstupní kód B ₁ B ₂ B ₃ B ₄ B ₅ B ₆ B ₇ B ₈	Rozsah unipolárního výstupu			
		napěťový [V]		proudový [mA]	
		U_0	\bar{U}_0	I_0	\bar{I}_0
FS	H H H H H H H H	-9,960	0,000	1,992	0,000
FS - 1 LSB	H H H H H H H L	-9,920	-0,040	1,984	0,008
1/2 FS + 1 LSB	H L L L L L L H	-5,040	-4,920	1,008	0,984
1/2 FS	H L L L L L L L	-5,000	-4,960	1,000	0,992
1/2 FS - 1 LSB	L H H H H H H H	-4,960	-5,000	0,992	1,000
0 FS - 1 LSB	L L L L L L L H	-0,040	-9,920	0,008	1,984
0 FS	L L L L L L L L	0,000	-9,960	0,000	1,992



Obr. 51. Převodník D/A s obvodem DAC-08 s kladným referenčním a bipolárním výstupním napětím

takto upraveného převodníku je na obr. 51. Na dolním výstupním odporu R_L vzniká vůči zemi napětí

$$\bar{U}_0 = \bar{I}_0 \cdot R_L$$

Na horním odporu R_L obdobně vzniká napětí

$$U_0 = I_0 \cdot R_L$$

Na výstupu je pak rozdíl obou napětí

$$U_0^* = U_0 - \bar{U}_0$$

neboť vstupní rozdílové napětí operačního zesilovače se vztahuje vůči nule. Tuto závislost je možné vyjádřit vztahem

$$U_0^* = \frac{U_{REF} \cdot R_L}{R_{REF}} \cdot \frac{N}{256} - \frac{U_{REF} \cdot R_L}{R_{REF}} \cdot \frac{255 - N}{256}$$

nebo též

$$U_0^* = \frac{U_{REF} \cdot R_L}{R_{REF}} \cdot \frac{2N - 255}{256}$$

Výstupní napětí se proto pohybuje v mezích

$$-\frac{U_{REF} \cdot R_L}{R_{REF}} \cdot \frac{255}{256} \leq U_0^* \leq \frac{U_{REF} \cdot R_L}{R_{REF}} \cdot \frac{255}{256}$$

za podmínky, že

$$0 \leq N \leq 255$$

Chyba, způsobená přídavným napájecím zdrojem, se u tohoto zapojení nevyskytuje. Výstupní odpory R_L musí být ovšem velmi dobře párovány.

Polaritu výstupního napětí je možné podle potřeby změnit záměnou obou analogových výstupů I_0 s \bar{I}_0 . Zapojení podle obr. 51 má ve srovnání s předcházejícím zapojením (obr. 50) tu výhodu, že výstupní napětí se může odebírat na výstupu s malým odporem. Připojíme-li jeden z obou analogových výstupů místo na zatěžovací rezistor R_L na zemní potenciál, vznikne zapojení s unipolárním napětím na výstupu s malou impedancí. Připojíme-li vývod I_0 na zem, bude se výstupní napětí pohybovat v hranicích

$$-\frac{U_{REF} \cdot R_L}{R_{REF}} \cdot \frac{255}{256} \leq U_0^* \leq 0$$

za podmínky, že bude platit

$$0 \leq N \leq 255$$

Připojí-li se na zemní potenciál výstup \bar{I}_0 , bude

$$0 \leq U_0^* \leq \frac{U_{REF} \cdot R_L}{R_{REF}} \cdot \frac{255}{256}$$

stavci (obr. 50). Přídavné napětí U však zvolíme poloviční, proto bude platit

$$U = \frac{U_{REF} \cdot R_L}{R_{REF}} \cdot \frac{127}{256}$$

Výstupní napětí se určí podle předcházejících vztahů. Pohybují se v hranicích

$$\frac{U_{REF} \cdot R_L}{R_{REF}} \cdot \frac{127}{256} \geq U_0 \geq -\frac{U_{REF} \cdot R_L}{R_{REF}}$$

$$-\frac{U_{REF} \cdot R_L}{R_{REF}} \cdot \frac{127}{256} \leq \bar{U}_0 \leq -\frac{U_{REF} \cdot R_L}{R_{REF}} \cdot \frac{127}{256}$$

za podmínky, že bude platit

$$0 \leq N \leq 255$$

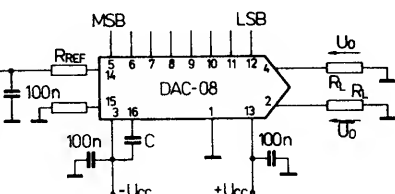
Jestliže se bude rovnat $R_{REF} = R_L$ a $N = 128$, dostaneme $U_0 = -U_{REF}/256$ a $\bar{U}_0 = 0$. Obě komplementární výstupní napětí jsou tedy bipolární a přibližně symetrická vůči zemnímu potenciálu. Plně se zde projeví chyba přídavného napájecího zdroje na přesnost. Kódovací a vyvažovací tabulka 17 udává napětí napěťového výstupu převodníku DAC-08 v doporučeném zapojení s bipolárními výstupy.

Bipolární výstup s operačním zesilovačem

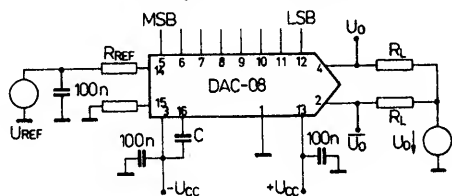
Bipolární výstupní napětí je možné získat bez přídavného zdroje napětí, použije-li se přídavný operační zesilovač na výstupu. Může se zapojit dvěma způsoby. Podle zapojení na obr. 25 se využívá vstupního rozdílového napětí poloviční velikosti výstupního zdvihu, které se přivádí na operační zesilovač. U převodníků řady DAC-08 se toto rozdílové napětí nemusí používat, protože se rozdíl obou komplementárních výstupních proudů převádí na napětí. Zapojení

Tab. 17. Kódovací a vyvažovací tabulka převodníku DAC-08 s bipolárními výstupy. Platí při $I_{REF+} = 2 \text{ mA}$, $R_L = 10 \text{ k}\Omega$, $R_{REF} = 5 \text{ k}\Omega$, kódování offset. binární (posunutě binární)

Rozsah	Vstupní kód B ₁ B ₂ B ₃ B ₄ B ₅ B ₆ B ₇ B ₈	Rozsah bipolárního výstupu [V]	
		U_0	\bar{U}_0
+FS	H H H H H H H H	-9,920	+10,000
+FS - 1 LSB	H H H H H H H L	-9,840	+9,920
0 FS + 1 LSB	H L L L L L L H	-0,080	+0,160
0 FS	H L L L L L L L	0,000	+0,080
0 FS - 1 LSB	L H H H H H H H	+0,080	0,000
-FS + 1 LSB	L L L L L L L H	+9,920	-9,840
-FS	L L L L L L L L	+10,000	-9,920



Obr. 49. Základní zapojení převodníku DAC-08 s kladným referenčním napětím a komplementárním záporným výstupním napětím



Obr. 50. Zapojení převodníku DAC-08 s kladným referenčním napětím a komplementárním kladným nebo bipolárním výstupním napětím

upravit podle obr. 50 tak, že se výstupní zatěžovací rezistory R_L nepřipojí na zemní potenciál, ale na kladný pól napájecího zdroje. Tato úprava je možná bez jakýchkoli problémů v důsledku širokého dovoleného pracovního výstupního napětí. Praktické zapojení je uvedeno na obr. 50. Obě výstupní napětí mají vůči zemi velikost

$$U_0 = U - \frac{U_{REF} \cdot R_L}{R_{REF}} \cdot \frac{N}{256}$$

invertované výstupní napětí

$$\bar{U}_0 = U - \frac{U_{REF} \cdot R_L}{R_{REF}} \cdot \frac{255 - N}{256}$$

Jestliže bude

$$U = \frac{U_{REF} \cdot R_L}{R_{REF}} \cdot \frac{255}{256}$$

budou se výstupní napětí pohybovat mezi 0 a napětím U . Přitom se musí počítat s tím, že chyba napájecího napětí U se plně přenesou do přesnosti. Proto se k tomuto účelu musí nezbytně využívat zdroj referenčního napětí. Zvolíme-li dostatečně velký $R_{REF} = R_L$, bude se pohybovat výstupní napětí mezi 0 velikostí $255/256 \cdot U_{REF}$.

Bipolární komplementární výstupy

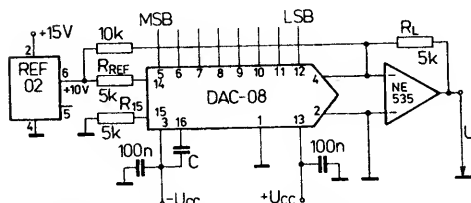
K tomuto účelu použijeme stejné zapojení převodníku DAC-08 jako v předchozím od-

rovněž za podmínky, že bude platit

$$0 \leq N \leq 255.$$

Je důležité ještě připomenout, že v popsaném zapojení nezávisí doba ustálení na převodníkovém obvodu D/A, ale je dána vlastnostmi použitého operačního zesilovače. Požaduje-li se velká rychlost, musí se použít vhodný typ rychlého zesilovače.

Praktický příklad jiného zapojení převodníku D/A s integrovaným obvodem řady DAC-08 s bipolárním výstupem a navazujícím operačním zesilovačem MAA741 je na obr. 52. Jako zdroj referenčního napětí slouží integrovaný obvod REF-02 s kladným



Obr. 52. Převodník D/A s obvodem DAC-08 s bipolárním výstupem, operačním zesilovačem připojeným k výstupu a integrovaným zdrojem referenčního napětí REF-02

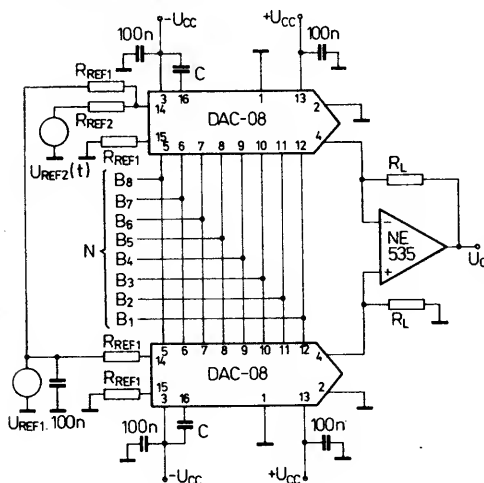
výstupním napětím 10,000 V. Na vstup se přivádí signál v ofsetovém binárním kódu. Tabulka 18 uvádí kódovací a vyvažovací postup převodníku pro výstupní napětí U_0 operačního zesilovače.

Tab. 18. Kódovací a vyvažovací tabulka převodníku DAC-08 v zapojení s operačním zesilovačem MAA741 na výstupu. Kódování ofset, binární

Rozsah	Výstupní kód $B_1 B_2 B_3 B_4 B_5 B_6 B_7 B_8$	Výstupní napětí U_0 [V]
+FS	H H H H H H H H	+4,960
0 FS	L L L L L L L L	0,000
-FS + 1 LSB	L L L L L L L H	-4,960
-FS	L L L L L L L L	-5,000

Programovatelný zesilovač

Ve spojení s převodníky řady MC1408 byl popsán dvoukvadrantový násobící obvod (obr. 28). Obdobné zapojení je možné vytvořit se dvěma převodníky DAC-08. Vazba střídavého signálu je na vývodu U_{REF-} (vývod 15). Návrh upraveného obvodu nabízí jinou možnost – vazbu s malou impedancí ve vývodu U_{REF+} (vývod 14). Elektrické zapojení je na obr. 53.



Obr. 53. Dva obvody DAC-08 v zapojení jako programovatelný zesilovač

Převodník D/A v horní poloze odevzdá výstupní proud, který představuje výsledný součet vstupních proudů na vývodu 14 a čísla N v číslicovém tvaru. Tento proud vytváří na výstupním rezistoru R_L úbytek napětí, daný vztahem

$$U_{RL} = \left(\frac{U_{REF1}}{R_{REF1}} + \frac{U_{REF2}(t)}{R_{REF2}} \right) \frac{N \cdot R_L}{256}$$

Převodník v dolní poloze slouží opět ke kompenzaci stejnosměrné složky napětí. Na dolním rezistoru R_L se vytvoří úbytek napětí

$$U_{RL} = \frac{U_{REF1}}{R_{REF1}} \cdot \frac{N \cdot R_L}{256}$$

Na výstupu celého obvodu vznikne rozdíl napětí podle obou vztahů

$$U_0 = \frac{U_{REF2}(t) \cdot R_L}{R_{REF2}} \cdot \frac{N}{256}$$

Tento vztah obsahuje ještě složku střídavého napětí. Zapojení se proto může použít jako číslicový programovatelný zesilovač, jehož šířka pásma je omezena jen náběhovou strmostí zesilovače referenčního proudu.

Při volbě součástek praktického zapojení nesmí být součet proudů na vývodu 14 záporný a nesmí překročit maximální dovolený referenční proud. Napětí na analogových výstupech musí být v mezích dovoleného rozsahu.

Číslicová násobička

Zapojení na obr. 54 představuje obvod, v němž se navzájem násobí dva číslicové údaje N_1 a N_2 . Převodníkový obvod v dolní poloze je připojen na vstup operačního zesilovače. Na jeho výstupu je napětí, které je výsledkem napětí na vývodu 15 a číslicového údaje N_2 podle vztahu

$$U_0 = \frac{U_{15} \cdot R_L}{R_{REF2}} \cdot \frac{N_2}{256}$$

Napětí na vývodu 15 je ovšem výstupní napětí převodníkového obvodu v horní poloze, tedy

$$U_{15} = \frac{U_{REF} \cdot U_{REF2}}{R_{REF1}} \cdot \frac{N_1}{256}$$

Celková funkce je pak dána vztahem

$$U_0 = \frac{U_{REF} \cdot R_L}{R_{REF1}} \cdot \frac{N_1}{256} \cdot \frac{N_2}{256}$$

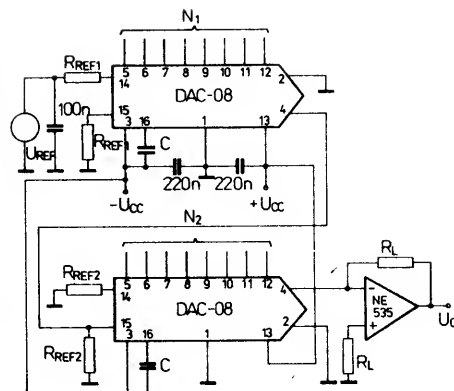
Popsané zapojení tedy vytváří výsledný produkt dvou binárních čísel N_1 a N_2 . Na výstupu je analogový výsledek.

Číslicová sčítáčka – odečítáčka

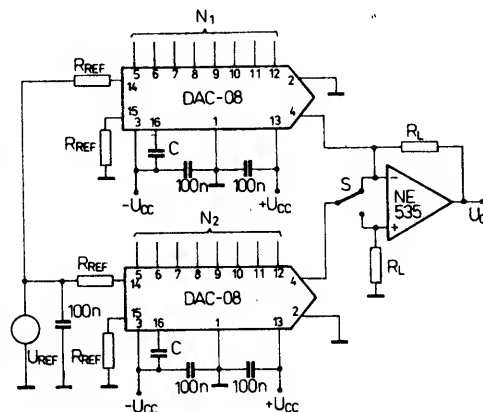
Obdobným způsobem je možné konstruovat zapojení, které sčítá nebo odečítá dva číslicové údaje N_1 a N_2 . Návrh zapojení je na obr. 55. Podle polohy spínače S se hodnoty buď sčítají (zakreslená poloha spínače) nebo odečítají. Výsledek má analogový tvar podle vztahu

$$U_0 = \frac{U_{REF} \cdot R_L}{256 \cdot R_{REF}} (N_1 \pm N_2)$$

Zvolíme-li referenční rezistory (pro oba převodníkové obvody) nestejné velikosti, mohou se číslicové údaje N_1 , N_2 doplnit dalšími



Obr. 54. Číslicová násobička s analogovým výstupem, složená ze dvou obvodů DAC-08

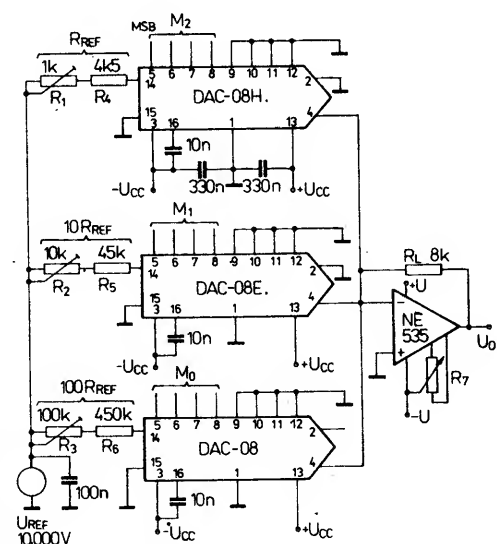


Obr. 55. Číslicová sčítáčka, popříp. odečítáčka, vytvořená ze dvou obvodů DAC-08

činiteli, které umožňují složitější výpočty, jako např. $N_1 + 2N_2$. Tato možnost je výhodná u převodníků D/A typu BCD.

Nahradí-li se každá číslice desítkovým číslem pomocí čtyřmístného binárního čísla, je možné převést desítkové číslo do následujícího tvaru

$$N_{(10)} = M_N \cdot 10^N + M_{N-1} \cdot 10^{N-1} + \dots + M_2 \cdot 10^2 + M_1 \cdot 10^1 + M_0 \cdot 10^0$$



Obr. 56. Třímístný převodník BCD D/A, vytvořený ze tří obvodů DAC-08

kde $N_{(10)}$ je desítkové číslo, M označujeme binární číslo ($M_0, M_1 \dots M_N$).

Pomocí převodníků řady DAC-08 je možné konstruovat převodníky D/A typu BCD, jehož typický představitel je na obr. 56. V podstatě je to číslicová sčítací, jak byla popsána v předchozím zapojení. Činitele $10^2, 10^1$ a 10^0 jsou realizovány vhodnou volbou referenčního odporu (5 kΩ, 50 kΩ, 500 kΩ). Výstupní proudy tří převodníků, vyhodnocené v poměru 100:10:1, se sčítají na vstupu operačního zesilovače a vytvářejí výstupní napětí podle vztahu

$$U_o = \frac{U_{REF} \cdot R_L}{R_{REF}} \left(\frac{M_2}{16} + \frac{M_1}{160} + \frac{M_0}{1600} \right)$$

Za předpokladu že $U_{REF} = 10$ V, $R_{REF} = 10$ V, $R_{REF} = 5$ kΩ a $R_L = 8$ kΩ, bude výstupní napětí dáno

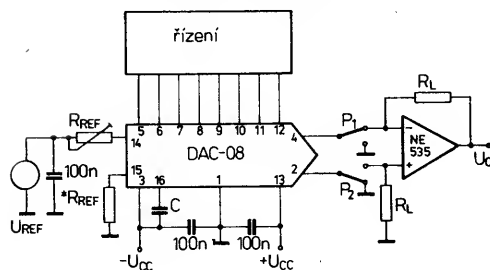
$$U_o = M_2 \cdot 1 \text{ V} + M_1 \cdot 0,1 \text{ V} + M_0 \cdot 0,01 \text{ V}.$$

Výstupní napětí tedy překrývá rozsah od 0 V do 9,99 V s rozlišovací schopností 10 mV, což odpovídá přesnosti 0,1 %. Pro první místo (M_2) je proto zapotřebí nejvyšší přesnosti 0,1 % FS (např. DAC-08HF, HN, HQ apod.). Požadavky na přesnost druhého místa jsou již o činitel 10 menší, proto postačí obvod DAC-08EF, EN, EQ. Obdobně se osadí poslední místo převodníkem s přesností 0,39 % FS.

V důsledku velkých požadavků na přesnost je žádoucí vyvážení systému. Nula se vyrovnává potenciometrem R_7 v obvodu operačního zesilovače. Číslicové vstupy přitom musí být na nule. Pak se přivede na vstup jedničkového čísla (M_0) signál pro číslici 9, na výstupu se pomocí R_3 nastaví napětí 90 mV. Jako další se nastaví na desítkovém čísle (M_1) údaj 9, na výstupu nastavíme potenciometrem R_2 napětí 0,990 V. Konečně provedeme obdobnou operaci na stovkovém čísle (M_2), kde nastavíme číslici 9, na výstupu potenciometrem R_1 nastavíme napětí 9,990 V. Tím je ukončen postup vyvažování.

Funkční generátor

Krátká doba ustálení převodníkových obvodů řady DAC-08 dovoluje zhotovit ve spojení s rychlým operačním zesilovačem (např. typu NE535) poměrně rychlý funkční generátor. Návrh elektrického zapojení je na obr. 57. Vlastní funkce generátoru závisí na čísli-



Obr. 57. Zapojení funkčního generátoru s obvodem DAC-08

covém způsobu řízení z funkční skupiny řízení. Oba spínače P_1 a P_2 na analogových

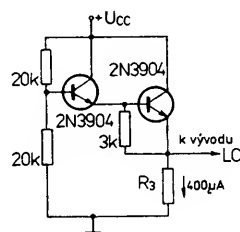
výstupech převodníku D/A umožňují vytvořit jednoduchým způsobem kladné výstupní napětí (v zakresleném postavení spínačů), záporné napětí (spínače P_1 a P_2 přepnuty) a bipolární napětí (sepnut jen spínač P_2). Optimální volba součástek popsaného zapojení: $U_{REF} = 10$ V, $R_{REF} = 5$ kΩ, $R_L = 5$ kΩ, $C = 75$ pF. Výstupní napětí $U_o = 10$ V, $U_o = -10$ V jsou maximální nebo bipolární při $U_o \text{ max} = 20$ V.

Obsahuje-li funkční řídicí skupina osmibitový čítač vpřed, dostaneme na výstupu skokovou (rychlostní) funkci. S čítačem vpřed/vzad a vhodným řízením je možné na výstupu zobrazit napětí trojúhelníkovitého průběhu. Řízení však musí přepínat čítač po dosažení maximálního čítaného stavu ($N = 255$) na čítání vzad a po dosažení minimálního čítaného stavu ($N = 0$) opět na čítání vpřed.

Chceme-li realizovat libovolnou funkci, je nutné uložit řídicí funkci do pevné paměti dat (např. paměti ROM, PROM, EPROM) a příslušným způsobem ji cyklicky z paměti číst.

Velikost výstupního napětí je možné řídit pomocí referenčního rezistoru. Přitom se musí dbát na dostatečnou kompenzaci. Kapacita kompenzačního kondenzátoru $C = 10$ nF dostačuje až do odporu referenčního rezistoru 660 kΩ.

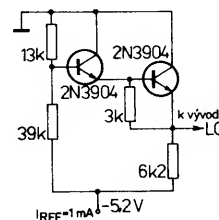
V náročných převodníkových systémech D/A, u nichž se vyžaduje velmi značná teplotní stabilita, se doporučuje ošetřit vývod LC převodníkového obvodu teplotně kompenzovaným obvodem. Vhodný způsob kompenzovaného zapojení vývodu LC převodníku, který má pracovat s logikou CMOS, HTL nebo NMOS je navržen na obr. 58. Zapojení



Obr. 58. Teplotně kompenzované zapojení vývodu LC obvodu DAC-08 při spolupráci s logikou CMOS, HTL a NMOS

pracuje se dvěma tranzistory typu 2N3904 (popř. TESLA KF508), odebírá nepatrný proud a po stránce provozní je velmi spolehlivý. Upravený obvod na obr. 59 slouží pro

ošetření vývodu LC převodníku, který má spolupracovat s logikou ECL.



Obr. 59. Teplotně kompenzované zapojení vývodu LC obvodu DAC-08 při spolupráci s logikou ECL

Monolitické převodníky D/A 8 b nestandardních řad

Mimo popsané převodníkové obvody D/A, které se mohou označit jako základní standardní součástky, vyrábí někteří specializovaní výrobci velmi užitečné převodníkové obvody 8 b, jejichž vnitřní systém je upraven pro plnění dalších úloh. V tabulce 19 je uveden přehled zajímavých obvodů, které jsou v současné době dosažitelné na evropském trhu polovodičových součástek.

Monolitické převodníky D/A 8b řady DAC90

Monolitické integrované bipolární převodníky D/A 8b řady DAC90 z výroby amerického výrobce Burr-Brown nabízejí vlastnosti, které můžeme nalézt především u velkých modulových součástek, vyráběných hybridní technologií. Převodníky DAC90 jsou vybaveny vnitřním zdrojem referenčního napětí s dvěma měřicími rezistory. Výrobce zaručuje u převodníků nelinearitu lepší než $\pm 0,2$ % v celém dovoleném rozsahu teplot od -25 do $+85$ °C u typu DAC90BG a od -55 do $+125$ °C u typu DAC90SG. Typická doba ustálení převodníků je 200 ns na 0,2 % plného rozsahu výstupního proudu. Z této krátké charakteristiky je patrné, že popisované součástky jsou vhodné pro náročná použití v přesných přístrojích, průmyslové elektronice a v přístrojích pro zpracování dat.

Funkční skupinové zapojení převodníků DAC90 je na obr. 60. Důležitou vlastností je jednak přímý proudový výstup s proudem od 0 do 2 mA (vývod 13), jednak přes dva rezistory 5 kΩ na vývody 12 a 11. Jejich

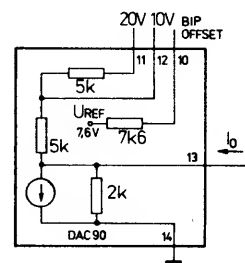
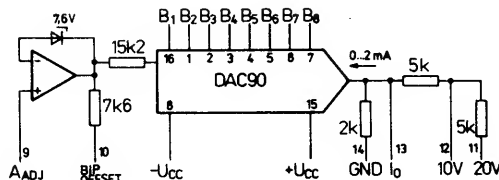
Tab. 19. Přehled základních vlastností převodníků D/A 8b nestandardních řad

Typ	Rozlišení [b]	Rel. přesnost [% FS]	Doba ustálení [ns]	Napájecí napětí [V]	Ztrátový výkon [mW]	Teplotní rozsah	Pouzdro	Výrobce	Zapojení vývodů
DAC90BG	8	0,2	200	± 15		C	CDIP16	BB	DIP16-4 61
DAC90SG	8	0,2	200	± 15		A	CDIP16	BB	DIP16-4 61
DAC336B-8	8	0,05	<4000	± 15	150	A	MDIP16	Sipex	DIP16-5 66
DAC336C-8	8	0,05	<4000	± 15	150	D	MDIP16	Sipex	DIP16-5 66
HS3020B	8	0,1	<3000	± 15 ; +5	680	A	CDIP18	Sipex	DIP18-1 73
HS3020C	8	0,1	<3000	± 15 ; +5	680	D	CDIP18	Sipex	DIP18-1 73

Teplotní rozsah: A – -55 až $+125$ °C; C – -25 až $+85$ °C; D – 0 až $+70$ °C.

Výrobce: BB – Burr-Brown, Sipex – Sipex Corp.

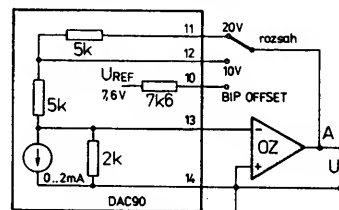
Obr. 60. Funkční skupinové zapojení převodníku DAC90



Obr. 62. Doporučené zapojení převodníku DAC90 při provozu s proudovým výstupem

Převodník DAC90 v proudovém výstupním provozu dovoluje unipolární výstupní proud od 0 do -2 mA nebo bipolární výstupní proud ± 1 mA. Základní zapojení převodníku je na obr. 62. Ponechá-li se vývod 13 volný, je výstupní proudový rozsah od 0 do -2 mA, spojí-li se s vývodem 10 (bipolární offset), upraví se výstup na bipolární s rozsahem ± 1 mA).

Převodník D/A, který pracuje s operačním zesilovačem, připojeným k výstupu podle obr. 63, jako převodník proudu na napětí, může odevzdat výstupní napětí v několika

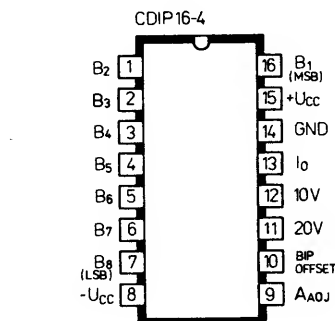


Obr. 63. Doporučené zapojení převodníku DAC90 při provozu s napěťovým výstupem; připojený vnější operační zesilovač využívá vnitřních zpětnovazebních rezistorů převodníku

využitím je možné nastavit výstupní napětí přídavného vnějšího operačního zesilovače na 10 nebo 20 V. Vnitřní zdroj referenčního napětí tvoří velmi stabilní Zenerova dioda s napětím 7,6 V, která je připojena mezi neinvertní vstup a výstup vnitřního operačního zesilovače. **Funkce vývodů:** B₁ až B₈ – vstupy číselového signálu, I_O – proudový výstup; 10 V – rozsah výstupního napětí 10 V; 20 V – rozsah výstupního napětí 20 V; GND – společný zemnicí bod; A_{ADJ} – nastavení zisku (pokud se tento vývod nepoužije k nastavení zisku, musí se uzemnit); BIP OFFSET – vývod pro korekci chyby offsetu; +U_{CC} – přívod kladného napájecího napětí; -U_{CC} – přívod záporného napájecího napětí. Součástky jsou v keramickém pouzdru DIP-16 s 2 × osmi vývody rozloženými v rastru 2,54 mm, odstup řad vývodů 7,62 mm. Zapojení vývodů je uvedeno na obr. 61. Elektrické údaje jsou v tabulce 20.

Převodníky DAC90 akceptují číselový vstupní signál v komplementárním binárním kódu (CBI), ovšem mohou být též zapojeny pro provoz s komplementárním přímým binárním (CSB) nebo komplementárním offsetovým binárním (COB) kódem podle tabulky 21. Použitím vnějšího přídavného invertoru se mohou převodníky DAC90 využívat v komplementárním dvojkovém módu (CTC).

Uváděná doba ustálení převodníku 200 ns platí při použití zatěžovacího rezisto-



Obr. 61. Zapojení vývodů CDIP16-4 převodníku DAC90

ru do 100 Ω . Doba ustálení se prodlouží na 250 až 300 ns při rezistoru 1 k Ω , při rezistorech s větším odporem (až do 100 k Ω) se doba ustálení mírně prodlužuje na typickou dobu 300 až 350 ns. Uvedené časy platí pro ustálení na $\pm 0,2$ % plného rozsahu, měřeno od číselového vstupu, u něhož nastala změna signálu.

Pružnost výstupního napětí je vlastně maximální rozkmít napětí na proudovém výstupu, potřebný k udržení požadované přesnosti. Při unipolárním a bipolárním proudovém zatížení je pružnost -4 až +4 V. Největší dovolený rozkmít, který nepoškodí součástku, může být na výstupu od -4 do +15 V.

Tab. 20. Elektrické údaje převodníků D/A 8 b řady DAC90

Mezní údaje			
Rozsah napájecího napětí	U _{CC} = $\pm 14,5$ až $\pm 15,5$	V	
Rozsah provozní teploty okolí			
DAC90FG	θ_j = -25 až +85	°C	
DAC90SG	θ_j = -55 až +125	°C	
Rozsah skladovací teploty	θ_{atg} = -55 až +125	°C	
Charakteristické údaje			
Platí při $\theta_j = 25$ °C, U _{CC} = ± 15 V, není-li uvedeno jinak.			
Rozlišení	= jmen. 8	b	
Chyba linearity	$\leq \pm 1/2$	LSB	
θ_j = -25 až +85 °C, DAC90FG	$\leq \pm 1/2$	LSB	
θ_j = -55 až +125 °C, DAC90SG	$\leq \pm 1/2$	LSB	
Chyba diferenciální linearity	= jmen. $\pm 1/2$	LSB	
Chyba zisku ¹⁾	= jmen. 5	%	
Chyba offsetu ^{1,2)}	= jmen. 1	%FS	
Minimální teplotní rozsah zaručené monotonie			
DAC90FG	θ_j = -25 až +85	°C	
DAC90SG	θ_j = -55 až +125	°C	
Vstupní napětí logických vstupů			
I _{IH} = 40 μ A, úroveň H	U _{IH} = 2,0 až 5,5	V	
I _{IL} = -1 mA, úroveň L	U _{IL} = 0 až -1	V	
Doba ustálení			
na $\pm 0,2$ % FS			
R _L = 10 až 100 Ω	t _S = jmen. 200	ns	
R _L = 1 k Ω	t _S = jmen. 300	ns	
Rozsah výstupního proudu	I _O = jmen. ± 1 ; 0 až -2	mA	
Výstupní impedance			
bipolární výstup	Z _O = jmen. 1,8	k Ω	
unipolární výstup	Z _O = jmen. 2,0	k Ω	
Pružnost výstupního napětí	U _O = -4 až +4	V	

Vnitřní referenční napětí	U _{REF} = jmen. 7,6	V
Teplotní součinitel referenčního napětí	TK _{REF} = jmen. ± 50	U _{REF} /K
Teplotní závislost zisku ³⁾		
θ_j = -25 až +85 °C, DAC90FG	TKA = jmen. ± 50	ppm/K
θ_j = -55 až +125 °C, DAC90SG	TKA = jmen. ± 50	ppm/K
Teplotní závislost unipolárního offsetu ³⁾		
θ_j = -25 až +85 °C, DAC90FG	TK = jmen. ± 1	ppmFS/K
θ_j = -55 až +125 °C, DAC90SG	TK = jmen. ± 1	ppmFS/K
Teplotní závislost bipolárního offsetu ³⁾		
θ_j = -25 až +85 °C, DAC90FG	TK = jmen. ± 50	ppmFS/K
θ_j = -55 až +125 °C, DAC90SG	TK = jmen. ± 50	ppmFS/K
Citlivost výstupního napětí FS na změnu záporného napětí, +U _{CC} = 15 V		
na změnu kladného napětí, -U _{CC} = 15 V	PSR- = jmen. $\pm 0,02$	%FS/%U _{CC}
Spotřeba napájecího proudu U _{CC} = ± 15 V	I _{CC} = jmen. 7	mA

- Vyvážení na nulu je možné vnějším potenciometrem.
- FSR znamená "full scale range" (plný rozsah), pro napěťový rozsah ± 10 V je 20 V, pro ± 5 V je 10 V apod.
- K udržení specifikací teplotní závislosti se musí použít vnitřní zpětnovazební rezistor.
- Vývod 9 (nastavení zisku A_{ADJ}) se musí spojit se zemí, jestliže se nevyužije k nastavení zisku.

Tab. 21. Číselkové vstupní a analogové výstupní vztahy převodníku DAC90

Číselkový vstupní kód B ₁ B ₂ B ₃ B ₄ B ₅ B ₆ B ₇ B ₈	Výstupní rozsah			
	napěťový ¹⁾ [V]		proudový [mA]	
	0 až +10 V	±10 V	0 až -2 mA	±1 mA
L L L L L L L L	+9,961	+9,922	-1,992	-0,992
L H H H H H H H	+5,000	0,000	-1,000	0,000
H L L L L L L L	+4,961	-78,12 mV	-0,99	+7,81 μA
H H H H H H H H	0,000	-10,000	0,000	+1,000
1 LSB	39,06 mV	78,12 mV	7,81 μA	7,81 μA

1. Vyžaduje vnější operační zesilovač. K získání údajů pro ostatní binární (CBI) rozsahy platí:

rozsah 0 až +5 V:	napěťový rozsah 0 až +10 V se dělí 2,
rozsah ±5 V:	napěťový rozsah ±10 V se dělí 2,
rozsah ±2,5 V:	napěťový rozsah ±10 V se dělí 4.

rozsazích v závislosti na způsobu zapojení přímého výstupu a výstupu operačního zesilovače při zvoleném číselovém vstupním kódu podle tabulky 22.

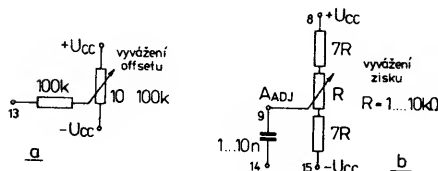
K vyvážení offsetu je prioritní vnější úprava zapojení převodníkového obvodu, která slouží k nastavení zisku. Podle zapojení na obr. 63 se nastaví výstupní rozsah, vlastní vyvážení offsetu je podle obr. 64a. Způsob nastavení offsetu je shodný jak pro unipolární, tak bipolární provoz. K vyvážení se přivede na číselkové vstupy příslušná instrukce pro nulové výstupní napětí a potenciometrem se nastaví nulové napětí. Příslušný kód je uveden v tabulce 21.

Dále uvedený postup nastavení zisku platí rovněž jak pro bipolární, tak unipolární provoz. Vnější operační zesilovač se připojí k převodníkovému obvodu podle obr. 63, korekční obvod se použije podle obr. 64b. Na vstup se pak přivede vstupní signál podle tabulky 21 pro maximální kladné výstupní napětí. Potenciometrem se nařídí přesné výstupní napětí.

Napěťový rozsah proudového výstupu převodníku DAC90, který pracuje podle zapojení na obr. 63, se zvolí připojením vývodu A a vývodu 13 podle tabulky 22. Pro běžné použití postačí operační zesilovač oblíbeného typu 741 nebo 3500, popřípadě jejich obdoba. Vyžaduje-li se rychlé zpracování signálu, musí se zvolit rychlejší operační zesilovač.

Bipolární převodníky D/A 8b řady DAC336-8

Velmi přesné bipolární integrované převodníkové obvody D/A 8b řady DAC336-8, jejichž výrobcem je americká firma Sipex Corp. (dříve známá jako Hybrid Systems Corp.), sdružují na společném čipu přesný zdroj referenčního napětí -8,0 V, rezistorovou jednotku R-2R, vstupní spínače, vstupní



Obr. 64. Způsob vyvážení převodníku DAC90; a – zapojení pro vyvážení offsetu; b – zapojení pro vyvážení zisku

paměťový registr 8b a výstupní zesilovač. Vnitřní funkční blokové zapojení obvodů je na obr. 65. Popsané vnitřní uspořádání snižuje počet potřebných vnějších součástek na minimum a současně zvětšuje spolehlivost provozu obvodu v základních mikropočítačových řídicích procesech a jiných průmyslových zapojeních.

Předností obvodu je přesné nastavení obvodu během výrobního postupu na $\pm 0,05\%$, což je čtyřikrát větší přesnost než mají jiné srovnatelné převodníkové obvody D/A 8b. Obvod tedy nevyžaduje potenciometr pro nastavení přesnosti a nákladné kondenzátory. Na jednoduchém výstupu je možné vhodným programováním odebrat jedno ze čtyř výstupních napětí: 0 až +10 V, 0 až -10 V, ± 5 V nebo ± 10 V.

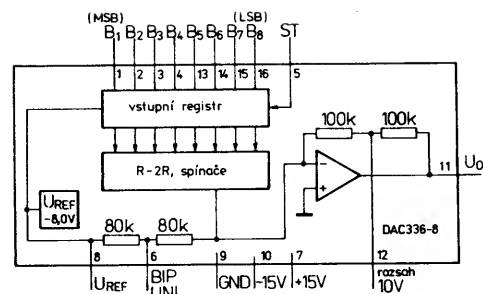
Vzorkovací vstup ST (vývod 5) řídí tok dat do záchytného obvodu (paměťového registru) převodníku. Je-li na tomto vstupu ST úroveň L, zadržuje registr přivedená data. Změní-li se výstupní signál na úroveň H, uvolní registr přicházející data a analogový výstup bude sledovat číselkový vstupní signál.

Klíčovou součástí obvodů je laserem trimovaná tenkofilmová rezistorová jednotka z niklchromu s malou tepelnou závislostí. Další předností obvodu je malý příkon (typicky 150 mW). Převodník akceptuje logické úrovně logických obvodů TTL, DTL a CMOS s napájením 5 V. Výstup převodníku může dodávat výstupní proud větší než 5 mA při výstupním napětí ± 10 V.

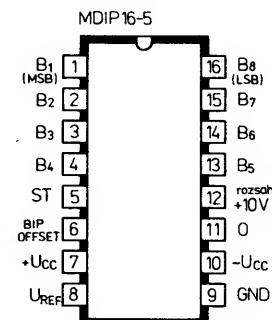
Funkce vývodů: B₁ až B₈ – číselkové logické vstupy; ST – vzorkovací vstup; BIP OFFSET – bipolární offset; U_{REF} – výstup referenčního napětí; +10 V – napěťový rozsah +10 V; 0 – výstup; GND – zemnicí bod; +U_{CC} – připoj kladného napájecího napětí; -U_{CC} – připoj záporného napájecího napětí. Zapojení vývodů ukazuje obr. 66.

Výrobce dodává dva typy převodníkových obvodů této řady. DAC336B-8 je určen pro použití v širokém rozsahu provozních teplot od -55 do +125 °C a splňuje podmínky normy MIL-STD-883 Rev.B, úroveň B, druhé provedení DAC336C-8 je určeno pro použití v běžném rozsahu provozních teplot od 0 do +70 °C. Elektrické údaje popsaných obvodů jsou v tabulce 23.

Funkci analogového výstupu v závislosti na přivedeném vstupním číselovém signálu udává tabulka 24 pro unipolární a bipolární výstupní napětí. Rozsah výstupního napětí se volí spojením vývodů 6 a 10 k předepsanému vývodu podle tabulky 25. Vstupní kód je dán požadovaným rozsahem výstupního napětí.



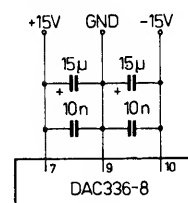
Obr. 65. Funkční skupinové zapojení převodníku D/A 8b řady DAC336-8



Obr. 66. Zapojení vývodů MDIP16-5 převodníku DAC336-8

Tab. 22. Napěťový rozsah proudového výstupu převodníku DAC90, který pracuje s vnějším operačním zesilovačem

Výstupní rozsah [V]	Číselkový vstupní kód	Vývod A připojit k vývodu	Vývod 13
±10	COB	11	10
±5	COB	12	10
±2,5	COB	12	10, 11
0 až +10	CSB	12	NC
0 až +5	CSB	12	11



Obr. 67. Doporučený způsob blokování přívodů napájecího napětí převodníku DAC336-8

Spolehlivá a přesná funkce převodníku vyžaduje dobré blokování přívodů napájecích napětí. Doporučené zapojení je navrženo na obr. 67. K blokování používejte jen kvalitní kondenzátory (keramické a tantalové).

Hybridní převodníky D/A 8b řady HS3020

Hybridní integrované obvody HS3020 z výroby firmy Sipex Corp. jsou převodníky D/A 8b, vyrobené hybridní technologií z diskretních součástek, namontovaných na keramickém substrátu. Systém obvodu sdružuje zdroj přesného referenčního napětí, který tvoří Zenerova dioda, vstupní registr, přesnou rezistorovou jednotku R-2R, vlastní převodník D/A 8b a výstupní zesilovač s krátkou dobou ustálení.

Tab. 23. Elektrické údaje převodníků D/A 8 b řady DAC336-B firmy Sipex

Mezní údaje			
Rozsah napájecího napětí	kladného	$+U_{CC} = 11 \text{ až } 18$	V
	záporného	$-U_{CC} = 11 \text{ až } 18$	V
Rozsah provozní teploty okolí	DAC336P-B	$\theta_a = -55 \text{ až } +125$	°C
	DAC336C-B	$\theta_a = 0 \text{ až } +70$	°C
Charakteristické údaje			
Flatit při $\theta_a = 25^\circ\text{C}$, $U_{CC} = \pm 15 \text{ V}$, není-li uvedeno jinak.			
Rozlišení		$= 8$	b
Integrovaná linearita		$= \text{žmen. } \pm 1/8; \leq \pm 1/2$	LSB
Diferenční linearita		$= \text{žmen. } \pm 1/2; \leq \pm 1$	LSB
Doba ustálení			
na 0,2 % FS, při změně o 1 LSB	t_s	≤ 4	μs
Rychlost přechodu	dU/dt	$= \text{žmen. } 0,5$	V/ μs
Logická slučitelnost číslicových vstupů			
	úroveň H , $U_{IH} > 3,5 \text{ V}$	logika TTL, DTL	
úroveň L , $U_{IL} \leq 0,8 \text{ V}$		logika TTL, DTL	
	práhová úroveň, $U_I = 2,5 \text{ V}$	logika CMOS s napájením 5 V	
Vstupní proud číslicových vstupů	I_I	≤ 1	μA
Vstupní kód			
	unipolární kladný	komplementární binární	
unipolární záporný		binární	
	bipolární	komplementární offset binární	
Šířka vzorkovacího impulsu ¹⁾	t_w	≥ 140	ns
Doba nastavení dat ²⁾	t_{setup}	≥ 50	ns
Zisk analogového výstupu	A_0	$= \text{žmen. } \pm 0,05; \leq \pm 0,2$	2FS
Počáteční offset		$= \text{žmen. } \pm 0,05; \leq \pm 0,2$	2FS
Rozsah výstupního napětí			
	unipolární	$U_{OC} = 0 \text{ až } -10; 0 \text{ až } +10$	V

bipolární	$U_{OC} = \pm 5; \pm 10$	V
Výstupní proud	$I_O \approx 5$	mA
Výstupní impedance	$R_O \leq 1$	Ω
Referenční napětí vnitřní	$U_{REF} = \text{žmen. } -8,0$	V
Stabilita v celém rozsahu dovolených teplot:		
Teplotní součinitel diferenční linearity	DAC336C-B, $\theta_a = 0 \text{ až } +70^\circ\text{C}$	TK = žmen. $\pm 15; \leq \pm 25$ ppmFS/K
	DAC336P-B, $\theta_a = -55 \text{ až } +125^\circ\text{C}$	TK = žmen. ± 15 ppmFS/K
Teplotní součinitel zisku	DAC336C-B, $\theta_a = 0 \text{ až } +70^\circ\text{C}$	TKA = žmen. $\pm 20; \leq \pm 30$ ppmFS/K
	DAC336P-B, $\theta_a = -55 \text{ až } +125^\circ\text{C}$	TKA = žmen. ± 20 ppmFS/K
Teplotní součinitel offsetu	DAC336C-B, $\theta_a = 0 \text{ až } +70^\circ\text{C}$	TK = žmen. $\pm 20; \leq \pm 30$ ppmFS/K
	DAC336P-B, $\theta_a = -55 \text{ až } +125^\circ\text{C}$	TK = žmen. ± 20 ppmFS/K
Teplotní součinitel celkové přesnosti přechodu signálu	DAC336C-B, $\theta_a = 0 \text{ až } +70^\circ\text{C}$	TK = žmen. $\pm 30; \leq \pm 50$ ppmFS/K
	DAC336P-B, $\theta_a = -55 \text{ až } +125^\circ\text{C}$	TK = žmen. ± 50 ppmFS/K
Spotřeba napájecího proudu	z kladného zdroje	$+I_{CC} = \text{žmen. } 3,5; \leq 6$ mA
	ze záporného zdroje	$-I_{CC} = \text{žmen. } 6,5; \leq 12$ mA
Citlivost výstupního proudu I_{FS} na změnu kladného napájecího napětí	PSR+	$\leq 0,005$ FS/ $\%U_{CC}$
	záporného napájecího napětí	PSR- $\leq 0,005$ FS/ $\%U_{CC}$

1. Zátěž vzorkovacího vstupu: připouští se dva vstupy CMOS.

2. Časové údaje musí být stabilní před příchodem vzorkovacího impulsu do úrovně L .

Tab. 24. Číslicové vstupní a analogové výstupní vztahy převodníku DAC336-B

Číslicový vstupní kód								Analogový výstup [V]			
B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	B_7	B_8	unipolární		bipolární	
								+10 V	-10 V	$\pm 10 \text{ V}$	$\pm 5 \text{ V}$
L	L	L	L	L	L	L	L	+9,961	0,000	+10,000	+5,000
L	L	L	L	L	L	L	H	+9,922	-0,039	+9,922	+4,961
L	L	L	L	L	L	H	H	+5,000	-4,961	+0,078	+0,039
L	L	L	L	L	L	L	L	+4,961	-5,000	0,000	0,000
L	L	L	L	L	L	H	L	+0,039	-9,922	-9,843	-4,922
L	L	L	L	L	L	H	H	0,000	-9,961	-9,921	-4,961

Výstup převodníku může pracovat ve čtyřech napěťových rozsazích a to s kladným a záporným unipolárním napětím a kladným a záporným bipolárním napětím. Funkční skupinové zapojení převodníku je na obr. 68.

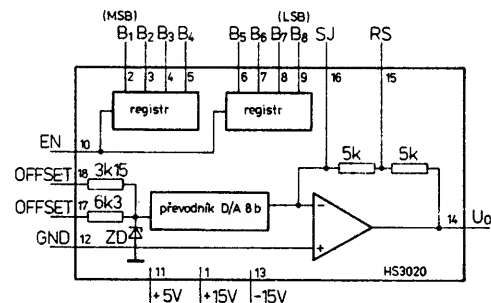
Tab. 25. Napěťový rozsah proudového výstupu převodníku DAC336-B

Rozsah výstupního napětí [V]	Vstupní kód	Vývod 6	Vývod 11
0 až +10	komplementární binární	8	12
0 až -10	binární	GND	12
± 5	komplementární offset binární	volný	12
± 10	komplementární offset binární	volný	volný

Obvod je zapouzdřen do hermeticky těsného keramického pouzdra DIP-18 s 2x devíti vývody rozmístěnými v rastru 2,54 mm a odstupem řad vývodů 7,62 mm. **Funkce vývodů:** B_1 až B_8 – číslicové logické vstupy; EN – uvolnění registru; O – analogový výstup; RS – výběr výstupního rozsahu; SJ – součtový bod; BIP OFFSET – bipolární offset; UNI OFFSET – unipolární offset; $+U_{CC}$ – přívod kladného napájecího napětí; $-U_{CC}$ – přívod záporného napájecího napětí; $+U_{CC}$ – přívod kladného napájecího napětí +5 V; GND – zemnicí bod. Zapojení vývodů převodníku HS3020 je na obr. 69.

Elektrické údaje popsaných převodníkových obvodů jsou uvedeny v tabulce 26. Výrobce zaručuje u těchto součástek linearity a přesnost nejen při pokojové teplotě, ale v celém dovoleném rozsahu pracovních teplot od -55 do +125 °C u typu HS3020B a od 0 do +70 °C u typu HS3020C.

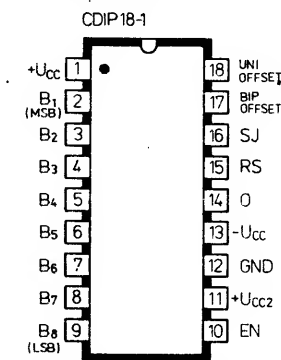
Optimální vyvážení offsetového napětí převodníku je možné vnějším korekčním vyvažovacím obvodem v zapojení podle obr. 70. Na vstup se přivede číslicový signál se vstupním kódem podle tabulky 27, zvolený rozsah výstupního napětí se určí připojením



Obr. 68. Funkční skupinové zapojení převodníku D/A 8 b řady HS3020

vývodů 14, 17 a 18 podle stejné tabulky. Potenciometrem se pak nastaví výstupní napětí na předepsanou úroveň.

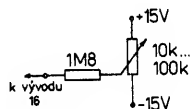
Převodníkové obvody HS3020 se napáje-



Obr. 69. Zapojení vývodů CDIP18-1 převodníku HS3020

Tab. 26. Elektrické údaje převodníků D/A 8b řady HS3020 firmy Sipex

Mezní údaje		
Rozsah napájecího napětí		
kladného	$+U_{CC} = 14 \text{ až } 18$	V
záporného	$-U_{CC} = 14 \text{ až } 18$	V
pomocného kladného	$+U_{CC2} = 4,75 \text{ až } 5,25$	V
Rozsah provozní teploty okolí		
HS3020B	$\theta_a = -55 \text{ až } +125$	°C
HS3020C	$\theta_a = 0 \text{ až } +70$	°C
Charakteristické údaje		
Pletí při $\theta_a = 25 \text{ °C}$, $U_{CC} = \pm 15 \text{ V}$, $U_{CC2} = +5 \text{ V}$, není-li uvedeno jinak		
Rozlišení	$b = 8$	
Monotonie	$= \text{zaručená v celém teplotním rozsahu}$	
Chyba linearity		
HS3020B, $\theta_a = -55 \text{ až } +125 \text{ °C}$	$E_r = \text{žmen. } \pm 1/4; \leq \pm 1/2$	LSB
HS3020C, $\theta_a = 0 \text{ až } +70 \text{ °C}$	$E_r \leq 1/2$	LSB
Chyba absolutní přesnosti		
HS3020B, $\theta_a = -55 \text{ až } +125 \text{ °C}$	$\leq \pm 1$	LSB
HS3020C, $\theta_a = 0 \text{ až } +70 \text{ °C}$	$= \text{žmen. } \pm 1/2; \leq 1$	LSB
Doba ustálení		
změna 10 V na $\pm 1/2$ LSB	$t_s \leq 3000$	ns
Rychlost přeběhu	$= \text{žmen. } \pm 15$	ppm/K
Kódování	$= \text{přímý binární kód}$	
	$= \text{offset binární kód}$	
Chyba unipolárního offsetu		
HS3020B, $\theta_a = -55 \text{ až } +125 \text{ °C}$	$\leq \pm 1$	LSB
Chyba bipolárního offsetu		
HS3020B, $\theta_a = -55 \text{ až } +125 \text{ °C}$	$\leq \pm 1$	LSB
Tepelná závislost offsetu v celém dovoleném rozsahu teplot unipolární + rozsah		
	$= \text{žmen. } \pm 2$	ppmFS/K

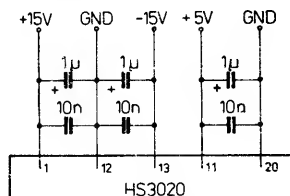


Obr. 70. Zapojení pro vyvážení bipolárního offsetu převodníku HS3020

její třemi napětími – symetrickým napětím $\pm 15 \text{ V}$ a pomocným kladným napětím $+5 \text{ V}$. I v tomto případě se musí všechna napájecí napětí blokovat kvalitními kondenzátory podle doporučeného zapojení na obr. 71.

Převodníky D/A 8b řady 5018, 5118

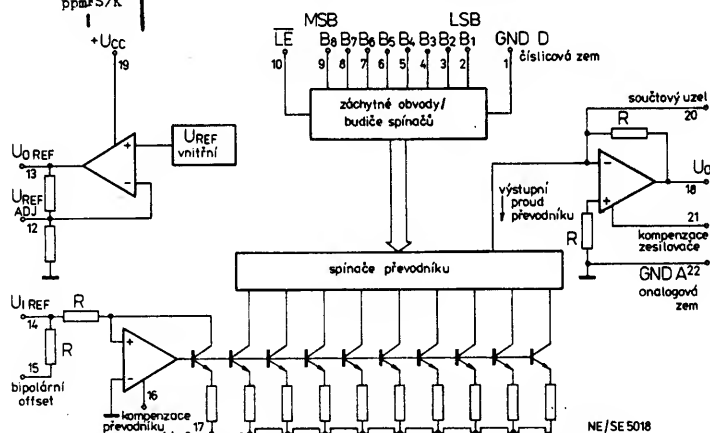
Všem popsaným standardním převodníkům D/A je společná vlastnost, že ke svému provozu v převodníkovém systému vyžadují poměrně velký počet vnějších součástek, jako např. zdroj referenčního napětí, referenční a výstupní rezistory, výstupní operační zesilovač apod. Systém tohoto typu sice nabízí velkou pružnost, avšak pro většinu použití to není vůbec zapotřebí. Mnohdy postačí mít převodník D/A s malým odporem



Obr. 71. Doporučený způsob blokování proudů napájecího napětí převodníku HS3020

unipolární - rozsah	= žmen. ± 10	ppmFS/K
bipolární rozsahy	= žmen. ± 10	ppmFS/K
Tepelná závislost zisku		
v celém dovoleném rozsahu teplot	= žmen. ± 15	ppmFS/K
Vstupní úroveň číslicových vstupů		
úroveň H, $I_{IH} = 30 \mu A$	$U_{IH} = 2,0 \text{ až } 5,5$	V
úroveň L, $-I_{IL} = 0,6 \text{ mA}$	$U_{IL} = -0,5 \text{ až } +0,7$	V
Vstupní úroveň uvolňovacího vstupu registru		
úroveň H, $I_{IH} = 40 \mu A$	$U_{IH} = 2,0 \text{ až } 5,5$	V
úroveň L, $-I_{IL} = 0,8 \text{ mA}$	$U_{IL} = -0,5 \text{ až } +0,7$	V
Šířka uvolňovacího impulsu vstupu registru		
	$t_W \geq 60$	ns
Doba nastavení		
	$t_{setu} \geq 40$	ns
Výstupní proud		
	$I_O \geq \pm 5$	mA
Výstupní impedance		
	$R_O = \text{žmen. } 0,05$	Ω
Zkrat výstupu vůči zemi		
	není definován	
Citlivost výstupního proudu na změnu napájecího napětí		
kladného	$FSR+ = \text{žmen. } \pm 0,03$	$\Delta FS/\Delta U_{CC}$
záporného	$FSR- = \text{žmen. } \pm 0,01$	$\Delta FS/\Delta U_{CC}$
Spotřeba napájecího proudu		
z kladného zdroje, $U_{CC} = +15 \text{ V}$	$+I_{CC} \leq 20$	mA
ze záporného zdroje, $U_{CC} = -15 \text{ V}$	$-I_{CC} \leq 13$	mA
z kladného zdroje, $U_{CC2} = +5 \text{ V}$	$+I_{CC2} \leq 37$	mA
Ztrátový výkon		
	$P_D \leq 680$	mW

▼ Obr. 72. Funkční skupinové zapojení převodníků D/A řady NE/SE 5018, NE/SE5019, DAC-UP8B



výstupu s kladným nebo bipolárním výstupním napětím, který však vyžaduje co nejmenší počet vnějších součástek. Navíc by měl mít ještě možnost jednoduchého připojení k datové sběrnici mikroprocesorového systému, s nímž by měl spolupracovat.

Přesně těmto požadavkům odpovídají převodníky řady 5018, 5118 a DAC-UP8B.

Jejich přehled je uveden v tabulce 28, kde jsou i jejich základní vlastnosti. Každý obvod tvoří úplný převodníkový systém D/A včetně vnitřního zdroje referenčního napětí, výstupního operačního zesilovače a mikroprocesorového rozhraní. Podstatné rozdíly mezi jednotlivými typy jsou především v dovoleném rozsahu pracovních teplot a druzích výstupu.

Tab. 27. Číslicové vstupní a analogové výstupní vztahy převodníku HS3020

Číslicový vstupní kód								Analogový výstup [V]			
								unipolární		bipolární	
B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	B ₇	B ₈	kladný	záporný	$\pm 5 \text{ V}$	$\pm 10 \text{ V}$
L	L	L	L	L	L	L	L	0,000	-9,961	-5,000	-10,000
L	L	L	L	L	L	L	H	+0,039	-9,922	-4,961	-9,922
L	L	L	L	L	H	H	H	+4,961	-5,000	-0,039	-0,078
L	L	L	L	H	L	L	L	+5,000	-4,961	0,000	0,000
L	L	L	H	L	L	L	L	+9,922	-0,039	+4,922	+9,844
L	L	H	L	L	L	L	L	+9,961	0,000	+4,961	+9,922
Spojit vývod s vývodem								14 s 15 17 s GND 18 s GND	14 s 15 16 s 18 17 s GND	14 s 15 16 s 17 18 s GND	16 s 17 18 s GND

Tab. 28. Přehled základních vlastností převodníků D/A 8 b řady 5018, 5118, slučitelných s mikroprocesory

Typ	Rozlišení [b]	Rel. přesnost [±% FS]	Doba ustálení [ns]	Napájecí napětí [V]	Ztrátový výkon [mW]	Teplotní rozsah	Pouzdro	Výrobce	Zapojení vývodů	obr. č.
DAC-UP8BC	8	0,19	2000	±15		D	DIP22	Datel	DIP22-1	73
DAC-UP8BM	8	0,19	2000	±15		A	CDIP22	Datel	DIP22-1	73
NE5018F	8	0,19	1800	±15	255	D	CDIP22	P	DIP22-1	73
NE5018N	8	0,19	1800	±15	255	D	DIP22	P	DIP22-1	73
NE5019F	8	0,10	1800	±15	255	D	CDIP22	P	DIP22-1	73
NE5019N	8	0,10	1800	±15	255	D	DIP22	P	DIP22-1	73
NE5118F	8	0,19	200	±15	255	D	CDIP22	P	DIP22-2	81
NE5118N	8	0,19	200	±15	255	D	DIP22	P	DIP22-2	81
NE5119F	8	0,10	200	±15	255	D	CDIP22	P	DIP22-2	81
NE5119N	8	0,10	200	±15	255	D	DIP22	P	DIP22-2	81
SE5018F	8	0,19	1800	±15	255	A	CDIP22	P	DIP22-1	73
SE5018N	8	0,19	1800	±15	255	A	DIP22	P	DIP22-1	73
SE5019F	8	0,10	1800	±15	255	A	CDIP22	P	DIP22-1	73
SE5118F	8	0,19	200	±15	255	A	CDIP22	P	DIP22-2	81
SE5119F	8	0,10	200	±15	255	A	CDIP22	P	DIP22-2	81

Teplotní rozsah: A: -55 až +125 °C, D: 0 až +70 °C
Výrobce: Datel Corp., P – Philips Components

Na obr. 72 je funkční skupinové zapojení převodníků řady NE5018, NE5019, SE5018 a SE5019. Mimo známé základní funkční skupiny jako referenční zesilovač, rezistorová síť R-2R, proudové spínače a vstupní paměťový registr obsahuje čip převodníku funkční skupinu zdroje referenčního napětí a výstupní operační zesilovač.

Zesilovač referenčního proudu je určen pouze pro zpracování kladného referenčního napětí. Vnitřní referenční rezistor však není spojen se zdrojem referenčního proudu. Tato skutečnost dovoluje konstruktérovi použít vnější zdroj referenčního napětí. Napětí na referenčním vstupu má být v tomto případě 0 až 5 V. Zesilovač referenčního proudu je navržen tak, aby nemusel být kompenzován při použití vnitřního či vnějšího zdroje referenčního napětí s vnitřním odporem menším než 5 kΩ. Se zvětšujícím se vnitřním odporem zdroje klesá fázová závislost, takže od určitého odporu je nutná kompenzace. Vazba referenčního proudu z referenčního zesilovače do rezistorové jednotky R-2R je stejná jako u převodníků řady DAC-08, referenční proud je však v tomto bodě znásoben součinitelem 2.

Vnitřní zdroj referenčního napětí je založen na principu tzv. pásmové mezery (band-gap), kterým se vyrábí teplotně nezávislé napětí 1,21 V. Toto napětí je zesíleno vnitřním neinvertujícím zesilovačem na velikost asi 5 V, které je možné odebírat na výstupu referenčního napětí (vývod 13). Aby bylo možné jednoduchým způsobem z vnějšku nařídít referenční napětí, je vyveden spojovací bod obou rezistorů, které určují zesílení, na společný vývod (vývod 12).

Výstupní proudy rezistorové jednotky R-2R, které se spínají proudovým spínačem na výstup, se přivádějí na rychlý výstupní operační zesilovač (s rychlostí přeběhu 15 V/μs). Tento zesilovač je propojen vnitřním rezistorem pro kladné výstupní napětí. Výstupní napětí je proto dáno

$$U_O = 2U_{REF} \frac{N}{256}$$

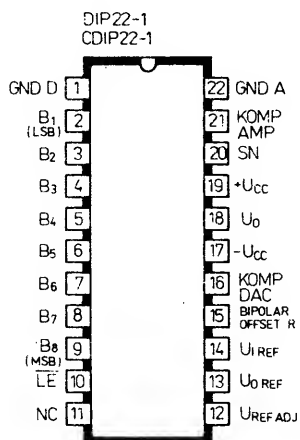
Využije-li se vnitřního zdroje referenčního napětí (vývody 13 a 14 se spojí), bude rozsah výstupního napětí 0 až 9,961 V a rozlišovací schopnost 39 mV.

Jak je patrné z obr. 72, je na vstupu referenčního napětí (vývod 14) ještě druhý rezistor, jehož konec (vývod 15) je vyveden s určením pro připojení bipolárního offsetového napětí. Připojí-li se tento vývod do bodu součtového uzlu (vývod 20), bude offsetové napětí na výstupu dáno velikostí referenčního napětí. Výstupní napětí je v tomto případě bipolární a je dáno

$$U_O = 2U_{REF} \cdot \frac{N}{256} - U_{REF}$$

Bude-li $N = 128$, bude výstupní napětí právě rovno nule. Bude-li $N < 128$, bude výstupní napětí záporné, naopak bude-li $N > 128$, bude výstupní napětí kladné. Použije-li se vnitřní zdroj referenčního napětí, dostaneme rozsah výstupního napětí od -5 V do +4,961 V.

Výstupní operační zesilovač se musí kompenzovat z vnějšku. Dále se doporučuje připojit diodu, pólovanou v propustném smě-



Obr. 73. Zapojení vývodů DIP22-1 převodníkových obvodů NE5018, NE5019, SE5018, SE5019, DAC-UP8BC, DAC-UP8BM

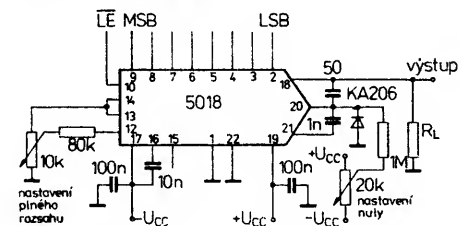
ru, k součtovému uzlu. Dioda slouží ke zmenšení přebuzení vstupu operačního zesilovače a zamezuje přechodu proudového spínače do stavu nasycení. Tímto opatřením se zkrátí doba ustálení na průměrnou dobu 2 μs.

Na obr. 73 je zapojení vývodů převodníkových obvodů řady 5018 a 5019. **Funkce vývodů:** B₁ až B₈ – logické číslicové vstupy; LE – uvolňovací vstup vstupního registru; U_{REF ADJ} – nastavení referenčního napětí; U_{O REF} – výstup referenčního napětí; U_{1 REF} – vstup referenčního zesilovače; BIPOLAR OFFSET R – vývod rezistoru R na vstupu převodníkového zesilovače; KOMP DAC – kompenzace zesilovače převodníku; U_O – výstupní napětí převodníku; SN – vývod součtového bodu; KOMP AMP – kompenzace výstupního zesilovače; +U_{CC} – připojení kladného napájecího napětí; -U_{CC} – připojení záporného napájecího napětí; GND A – zemnicí bod analogové části obvodu; GND D – zemnicí bod číslicové části převodníkového obvodu.

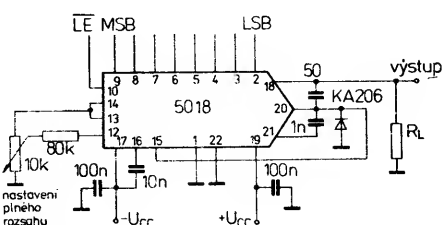
Integrované obvody NE5018, NE5019 jsou v plastovém pouzdru DIP-22 s 2× jednácti vývody v rastru 2,54 mm a odstupem řad vývodů 11,4 mm, obvody SE5018, SE5019 jsou v hermeticky těsných keramických pouzdrech DIP-22 se stejnými rozměry. Součástky v plastovém pouzdru jsou určeny pro práci v běžném rozsahu teplot od 0 do +70 °C, součástky v keramickém pouzdru pro práci v širokém rozsahu teplot od -55 do +125 °C. Elektrické údaje popisných převodníků jsou v tabulce 29.

Na obr. 74 a 75 je doporučené zapojení převodníkových obvodů NE/SE5018 a NE/SE5019 s potřebnými vnějšími součástkami. Budeme-li pracovat s referenčním napětím, můžeme kompenzovat zesilovač referenčního proudu kondenzátorem 100 nF vůči zápornému napájecímu napětí. V tomto případě nemohou být přijímány žádné požadavky na jeho nábojovou strmost.

Zapojení na obr. 74 znázorňuje též zapojení k vyrovnání konečné hodnoty rozsahu. Potenciometr 10 kΩ může být zvolen jako



Obr. 74. Doporučené zapojení převodníku s obvodem 5018 s unipolárním kladným výstupním napětím 0 až 10 V



Obr. 75. Doporučené zapojení převodníku s obvodem 5018 s bipolárním výstupním napětím od -5 V do +5 V

Tab. 29. Elektrické údaje převodníků D/A NE/SE5018, NE/SE5019

Mezní údaje		
Napájecí napětí kladné	$+U_{CC} \leq 18$	V
Napájecí napětí záporné	$-U_{CC} \leq 18$	V
Vstupní napětí logických vstupů	$U_I = 0 \text{ až } 18$	V
Napětí na referenčním vstupu	$U_I \text{ REF} \approx 12$	V
Napětí na vstupu pro nastavení referenčního napětí	$U_{REF \text{ ANJ}} = 0 \text{ až } U_{REF}$	V
Napětí na vývodu SN (souřadový rež.)	$U_{SN} \approx 12$	V
Zkratový proud výstupu referenčního napětí vůči zemi	$I_{REF \text{ SC}} = \text{trvalý}$	
Zkratový proud výstupu vůči zemi nebo napájecím napětím	$I_{O \text{ SC}} = \text{trvalý}$	
Vstupní proud referenčního zesilovače	$I_{REF} \approx 5$	mA
Ztrátový výkon celkový		
součástky v pouzdrů keramickém	$P_{tot} \approx 1000$	mW
součástky v pouzdrů plastovém	$P_{tot} \approx 800$	mW
Rozsah provozní teploty okolí		
NE5018, NE5019	$\vartheta_a = 0 \text{ až } +70$	°C
SE5018, SE5019	$\vartheta_a = -55 \text{ až } +125$	°C
Rozsah skladovací teploty	$\vartheta_{stg} = -65 \text{ až } +150$	°C
Teplota vývodů při pájení		
$t \leq 10 \text{ s}$	$\vartheta_L \approx 300$	°C
Snižování ztrátového výkonu		
součástky v plastovém pouzdrů,	$\vartheta_a > 35 \text{ °C}$	≈ 120 K/W
součástky v keramickém pouzdrů	$\vartheta_a > 75 \text{ °C}$	≈ 75 K/W
Charakteristické údaje		
Platí při $+U_{CC} = 15 \text{ V}$, $-U_{CC} = 15 \text{ V}$, není-li uvedeno jinak. Jmenovité údaje platí při $\vartheta_a = 25 \text{ °C}$.		
NE5018, NE5019: $\vartheta_a = 0 \text{ až } +70 \text{ °C}$		
SE5018, SE5019: $\vartheta_a = -55 \text{ až } +125 \text{ °C}$		
Rozlišení	$= 8$	b
Monotonie	$= 8$	b
Relativní přesnost		
NE5018, SE5018	$E_r \approx \pm 0,19$	%FS
NE5019, SE5019	$E_r \approx \pm 0,10$	%FS
Napájecí napětí kladné	$+U_{CC} = \text{jmen. } 15; \geq 11,4$	V
Napájecí napětí záporné	$-U_{CC} = \text{jmen. } 15; \geq 11,4$	V
Vstupní napětí logických vstupů		
vývod 1, $U_I = 0 \text{ V}$		
úroveň H	$U_{IH} \approx 2,0$	V
úroveň L	$U_{IL} \approx 0,8$	V
Vstupní proud logických vstupů		
vývod 1, $U_I = 0 \text{ V}$		
$U_I = 2 \text{ až } 18 \text{ V}$, úroveň H	$I_{IH} = \text{jmen. } 0,1; \leq 10$	μA
$U_I = -5 \text{ až } +0,8 \text{ V}$, úroveň L	$I_{IL} = \text{jmen. } -2; \leq -50$	μA
Výstupní napětí pro plný rozsah		
$U_I \text{ REF} = 5,000 \text{ V}$, $\vartheta_a = 25 \text{ °C}$		
unipolární provoz:		
NE5018, SE5018	$U_{FS} = \text{jmen. } 9,961$	V
NE5019, SE5019	$U_{FS} = \text{jmen. } 9,961; 9,5 \text{ až } 10,5 \text{ V}$	
bipolární provoz:		
	$U_{FS} = \text{jmen. } +4,961; -5,000 \text{ V}$	
Výstupní napětí pro nulový rozsah	$U_{ZS} = \text{jmen. } 5$	V
Výstupní proud zkratový		
$U_O = 0 \text{ V}$, $\vartheta_a = 25 \text{ °C}$		
NE5018, SE5018	$I_{OS} = \text{jmen. } 40$	mA
NE5019, SE5019	$I_{OS} = \text{jmen. } 15; \leq 40$	mA
Citlivost výstupního proudu na změnu kladného napájecího napětí		
$-U_{CC} = 15 \text{ V}$, $+U_{CC} = 13,5 \text{ až } 16,5 \text{ V}$		
NE5018, SE5018	$\text{PSR}_{I_{FS}+} = \text{jmen. } 0,01$	%FS/ ΔU_{CC}
NE5019, SE5019	$\text{PSR}_{I_{FS}+} = \text{jmen. } 0,001; \leq 0,01$	%FS/ ΔU_{CC}

na změnu záporného napájecího napětí

 $+U_{CC} = 15 \text{ V}$, $-U_{CC} = 13,5 \text{ na } 16,5 \text{ V}$

NE5018, SE5018	$\text{PSR}_{I_{FS}-} = \text{jmen. } 0,01$	%FS/ ΔU_{CC}
NE5019, SE5019	$\text{PSR}_{I_{FS}-} = \text{jmen. } 0,001; \leq 0,01$	%FS/ ΔU_{CC}
Teplotní součinitel výstupního proudu I_{FS}		
$U_I \text{ REF} = 5,000 \text{ V}$	$\text{TKI}_{FS} = \text{jmen. } 20$	ppm/K
Teplotní součinitel výstupního proudu I_{ZS}		
$U_I \text{ REF} = 5,000 \text{ V}$	$\text{TKI}_{ZS} = \text{jmen. } 5$	ppm/K
Výstupní proud referenčního zesilovače		
$\Delta U_{REF} \leq 0,1 \%$, $\vartheta_a = 25 \text{ °C}$,	$I_{REF} = \text{jmen. } 5$	mA
$U_O \text{ REF} = 0 \text{ V}$	$I_{REF \text{ SC}} = \text{jmen. } 15$	mA
Citlivost referenčního proudu na změnu kladného napájecího napětí		
$I_{REF} = 1 \text{ mA}$		
$-U_{CC} = 15 \text{ V}$, $+U_{CC} = 13,5 \text{ až } 16,5 \text{ V}$		
NE5018, SE5018	$\text{PSR}_{-I_{REF}} = \text{jmen. } 0,01$	%UR/ ΔU_{CC}
NE5019, SE5019	$\text{PSR}_{-I_{REF}} = \text{jmen. } 0,003; \leq 0,01$	%UR/ ΔU_{CC}
na změnu záporného napájecího napětí		
$+U_{CC} = 15 \text{ V}$, $-U_{CC} = 13,5 \text{ až } 16,5 \text{ V}$		
NE5018, SE5018	$\text{PSR}_{-I_{REF}} = \text{jmen. } 0,01$	%UR/ ΔU_{CC}
NE5019, SE5019	$\text{PSR}_{-I_{REF}} = \text{jmen. } 0,003; \leq 0,01$	%UR/ ΔU_{CC}
Referenční napětí		
NE5018, SE5018	$U_{REF} = \text{jmen. } 5,0$	V
NE5019, SE5019	$U_{REF} = \text{jmen. } 5,0; 4,5 \text{ až } 5,5 \text{ V}$	
Teplotní součinitel referenčního napětí, $I_{REF} = 1 \text{ mA}$	$\text{TKU}_{REF} = \text{jmen. } 60$	ppm/K
Vstupní impedance referenčního vstupu		
NE5018, SE5018	$Z_{I \text{ REF}} = \text{jmen. } 5$	k Ω
NE5019, SE5019	$Z_{I \text{ REF}} = \text{jmen. } 5; 4 \text{ až } 6$	k Ω
Spotřeba napájecího proudu		
z kladného zdroje, $+U_{CC} = 15 \text{ V}$		
NE5018, SE5018	$+I_{CC} = \text{jmen. } 7$	mA
NE5019, SE5019	$+I_{CC} = \text{jmen. } 7; \leq 14$	mA
ze záporného zdroje, $-U_{CC} = 15 \text{ V}$		
NE5018, SE5018	$-I_{CC} = \text{jmen. } 10$	mA
NE5019, SE5019	$-I_{CC} = \text{jmen. } 10; \leq 15$	mA
Ztrátový výkon		
$I_{REF} = 1 \text{ mA}$, $U_{CC} = \pm 15 \text{ V}$		
NE5018, SE5018	$P_D = \text{jmen. } 255$	mW
NE5019, SE5019	$P_D = \text{jmen. } 255; \leq 435$	mW
Dynamické údaje:		
Platí při $U_{CC} = \pm 15 \text{ V}$, $\vartheta_a = 25 \text{ °C}$		
Doba ustálení		
na 1/2 LSB, všechny bity v H	$t_{SLH} = \text{jmen. } 1,8$	μs
	$t_{SHL} = \text{jmen. } 2,3$	μs
Doba zpoždění průchodu signálu ze vstupu na výstup		
všechny bity z úrovně L na H	$t_{PLH} = \text{jmen. } 300$	ns
všechny bity z úrovně H na L	$t_{PHL} = \text{jmen. } 150$	ns
při změně o 1 LSB	$t_{PLSF} = \text{jmen. } 150$	ns
ze vstupu \overline{LE} na výstup:		
při přechodu z úrovně L na H	$t_{PLH} = \text{jmen. } 300$	ns
při přechodu z úrovně H na L	$t_{PHL} = \text{jmen. } 150$	ns
Doba nastavení ze vstupu na vývod \overline{LE}		
NE5018, SE5018	$t_S \approx 200$	ns
NE5019, SE5019	$t_S \approx 100$	ns
Doba přiřazení ze vstupu \overline{LE} na vstup	$t_H \approx 50$	ns
Šířka uvolňovacího impulsu záchytného obvodu		
NE5018, SE5018	$t_{PW} \approx 200$	ns
NE5019, SE5019	$t_{PW} \approx 150$	ns
Rychlost přechodu napětí referenčního vstupu	$\Delta U/\Delta t = \text{jmen. } 25$	V/ μs

Tab.30 . Elektrické údaje převodníků D/A 8 b řady DAC-UP8B firmy Datal

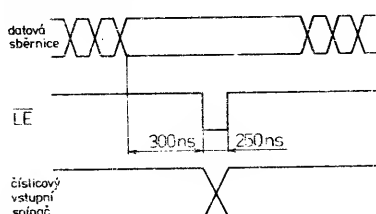
Mezní údaje		
Napájecí napětí kladné, vývod 19	$+U_{CC} \leq +18$	V
Napájecí napětí záporné, vývod 17	$-U_{CC} \leq -18$	V
Vstupní napětí logických vstupů		
vývody 2 až 10	$U_I \leq +18$	V
Napětí vstupu referenčního zesilovače, vývod 14	$U_{14 REF} \leq +12$	V
Napětí vývodu součtového spoje		
vývod 20	$U_{20} \leq +12$	V
Rozsah provozní teploty okolí		
DAC-UP8BC	$\vartheta_a = 0 \text{ až } +70$	°C
DAC-UP8BM	$\vartheta_a = -55 \text{ až } +125$	°C
Rozsah skladovací teploty	$\vartheta_{stg} = -65 \text{ až } +150$	°C
Charakteristické údaje		
Platí při $U_{CC} = \pm 15 \text{ V}$, $U_{REF} = 5 \text{ V}$, $\vartheta_a = 25 \text{ °C}$, není-li uvedeno jinak.		
Rozlišení	$= 8$	b
Kódování		
unipolární výstup	$= \text{přímý binární kód}$	
bipolární výstup	$= \text{offset binární kód}$	
Chyba linearity	$E_r \leq \pm 1/2 \text{ LSB}$	
Chyba diferenční linearity	$\leq \pm 1/2 \text{ LSB}$	
Monotonie		
v celém dovoleném rozsahu pracovní teploty	$= 8$	b
Chyba zisku	$= \text{nastavitelná na } 0$	
Chyba nuly	$= \text{nastavitelná na } 0$	
Teplotný součinitel zisku	$TKA = 20$	ppm/K
Teplotný součinitel nuly, unipolární TK	$= 5$	ppm/K z FS
Teplotný součinitel offsetu, bipolární TK	$= 10$	ppm/K z FS
Teplotný součinitel referenčního napětí	$TKU_{REF} = 60$	ppm/K

Doba ustálení na 1/2 LSB	$t_S = 2$	μs
Vstupní napětí logických vstupů		
všechny bity v úrovni H,	$U_{IH} = 2,0 \text{ až } 5,5$	V
$I_{IH} = 10 \mu A$		
všechny bity v úrovni L,	$U_{IL} = 0 \text{ až } +0,8$	V
$I_{IL} = -10 \mu A$		
Zátěž vstupu \overline{LE}		
úroveň H	$U_{LE H} = \text{přidržení dat}$	
úroveň L	$U_{LE L} = \text{přechod dat}$	
Šířka zatěžovacích impulsů	$t_w \geq 150$	ns
Vstupní referenční napětí	$U_{REF} = 5; 4,5 \text{ až } 5,5$	V
Odpor referenčního vstupu	$R_{REF} = 5$	kΩ
Rychlost přeběhu referenčního vstupu	$dU/dt = 25$	V/ μs
Rozsah výstupního napětí		
unipolární	$U_O = 0 \text{ až } +10$	V
bipolární	$U_O = \pm 5$	V
Výstupní proud	$I_O \leq 5$	mA
Výstupní odpor	$R_O \leq 5$	Ω
Výstupní referenční napětí	$U_{REF} = 5; 4,5 \text{ až } 5,5$	V
Výstupní referenční proud	$I_{REF} = 5$	mA
Napájecí napětí provozní	$U_{CC} = \pm 15$	V
Rozsah napájecího napětí	$U_{CC} = \pm 12 \text{ až } \pm 18$	V
Spotřeba napájecího proudu		
z kladného zdroje	$+I_{CC} = \text{žmen. } 7$	mA
ze záporného zdroje	$-I_{CC} = \text{žmen. } 10$	mA
Citlivost výstupního napětí na změnu napájecího napětí	$PSR = \text{žmen. } 1$	mV/V
Výběr výstupního módu		
unipolární, vývod 15 volný	$U_O = 0 \text{ až } +10$	V
bipolární, vývod 15 spojen s vývodem 20	$U_O = \pm 5$	V

víceotáčkový (např. desetotáčkový). Zvětší se tím přesnost nastavení.

Vstupní paměť se může řídit pomocí vstupu \overline{LE} zpět do úrovně H, zapíše se přivedená informace na vstup do vstupní paměti. Výstup převodníku odevzdává konstantní signál, který odpovídá zapamatované informaci zcela nezávisle na informaci, která je právě na číslicovém vstupu. Teprve po opětovném přivedení signálu s úrovní L na vstup \overline{LE} bude nová číslicová informace převzata a nastaví se odpovídající výstupní napětí.

Vstupní paměť převodníků má velký odpor, proto se tak nezatěžuje datová sběrnice. Vstupní proudy činí průměrně 5 μA . Prahaová napětí pro úroveň H a L jsou volena tak, aby se mohly zpracovávat úrovně logiky TTL, DTL, LSL, NMOS bez dalších úprav. Informace na datové sběrnici má být po dobu nejméně 550 ns, než vstup \overline{LE} přejde opět do vysoké úrovně H (viz obr. 76). K nastavení dat je potřebná doba 300 ns, k převzetí dat doba nejméně 250 ns. V katalogovém listě je uváděna doba potřebná k převzetí dat průměrně 400 ns. Proto jsou popsána zapojení dostatečně rychlá pro všechny obvyklé typy mikroprocesorů.



Obr. 76. Časový diagram přejímání dat v převodníku řady 5018

Převodníky řady 5018 jsou vhodné především pro použití v systémech s datovými sběrnicemi. Mohou se samozřejmě použít ve všech popsanych zapojeních s převodníkovými obvody DAC-08, u nichž s přídatným operačním zesilovačem na výstupu mohou odevzdat kladné nebo bipolární výstupní napětí. Všechny informace platí též pro práci s převodníky 5019. V některých případech se s nimi dosáhne větší relativní přesnosti, k čemuž dále přispějí lepší specifikace převodníků výběrových vlastností.

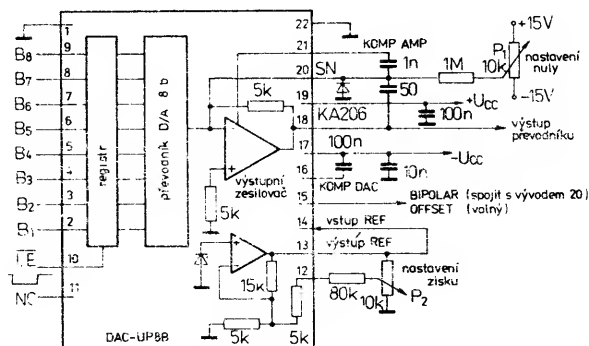
• Převodníky D/A 8 b řady DAC-UP8B

Americký výrobce Datal Corp. vyrábí převodníkové obvody elektricky a mechanicky obdobné s řadou 5018 a označuje je typovým znakem DAC-UP8BC a DAC-UP8BM. Jsou velmi přesné ($\pm 0,19$), rozdíl mezi oběma provedeními spočívá pouze v dovoleném rozsahu provozních teplot okolí. Sou-

částky DAC-UP8BM jsou v keramickém pouzdra, DAC-UP8BC v plastovém pouzdra DIP22 s 2× jedenácti vývody v rastru 2,54 mm ve dvou řadách a odstupem řad vývodů 11,4 mm. Zapojení vývodů (stejně jako jejich funkce) je shodné se zapojením převodníků NE/SE5018 podle obr. 73.

Funkční skupinové zapojení převodníků DAC-UP8B řady je shodné s obr. 72. Elektrické údaje jsou uvedeny v tabulce 30. Doporučené provozní zapojení převodníků DAC-UP8B, které je výrobcem používáno též ke kalibraci převodníkového systému, je uvedeno na obr. 77. Vývod 15 zůstává volný, požadujeme-li unipolární rozsah výstupního napětí 0 až +10 V. Jestliže požadujeme bipolární výstupní rozsah $\pm 5 \text{ V}$, musí se spojit vývod 15 s vývodem 20.

Postup vyvažování: Nejdříve zvolíme výstupní rozsah tím, že spojíme vývod 15 podle žádaného módu. Na vstup \overline{LE} přivede-

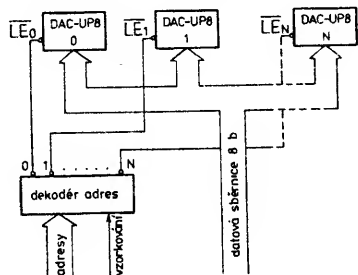


Obr. 77. Doporučené provozní zapojení převodníkového obvodu DAC-UP8B, vhodné též ke kalibraci systému

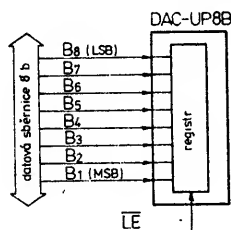
me signál s úrovní L. Při unipolárním provozu se na všechny číslicové vstupy přivede signál s úrovní L a potenciometrem P_1 pro nastavení nuly se nastaví výstupní napětí 0,000 V podle tabulky 31. Při bipolárním provozu se na všechny číslicové vstupy přivede signál L a potenciometrem P_1 pro nastavení nuly se nastaví výstupní napětí pro plný unipolární rozsah +9,961 V nebo +4,961 V pro plný bipolární rozsah.

Zisk se při unipolárním i bipolárním provozu nastaví tak, že se na číslicové vstupy přivede signál s úrovní H a potenciometrem nastavení zisku P_2 se nařídí výstupní napětí pro plný unipolární rozsah +9,961 V nebo +4,961 V pro plný bipolární rozsah.

Integrované převodníkové obvody DAC-UP8B řady jsou přizpůsobeny pro spolupráci s mikroprocesorovými systémy. Další dva příklady dávají námět k jejich využití. K řízení procesů, měřících a testovacích přístrojů, ale i k řízení programovatelných napájecích zdrojů, popř. vstupních a výstupních zařízení počítačů může posloužit schématické zapojení tří nebo i více převodníkových obvodů DAC-UP8B podle obr. 78, které slouží jako rozhraní k osmibitové datové sběrnici.



Obr. 78. Rozhraní s několika převodníky DAC-UP8B pro datovou sběrnici 8 b



Obr. 79. Zapojení pro řízení paralelního datového signálu 8 b na vstup registru obvodu DAC-UP8B

Obr. 79 předvádí zapojení pro přivádění paralelního osmibitového datového signálu na vstup registru obvodu DAC-UP8B. Funkční skupina registru je statická záchytná paměť, kterou řídí vývod LE, aktivní v nízké úrovni L. Jsou-li přivedena data stabilní na číslicových datových vstupech (bit 1 a 8), mohou projít do registru s kladnou hranou vstupního impulsu LE. Napěťová úroveň na datové sběrnici má trvat nejméně 200 ns před změnou signálu LE do úrovně H. Minimální šířka uvolňovacího impulsu LE je 200 ns.

Převodníky D/A 8 b řady 5118

Tato řada převodníků se skládá ze čtyř typů NE5118, NE5119, SE5118, SE5119.

Tab. 31. Číslicové vstupní a analogové výstupní vztahy převodníků řady DAC-UP8B Datal

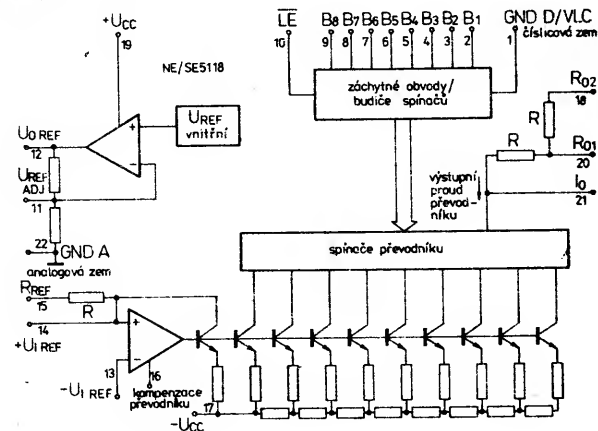
Číslicový vstupní kód								Výstupní napěťový rozsah [V]	
MSB				LSB				unipolární	bipolární
B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	B ₇	B ₈	0 až +10 V	±5 V
H	H	H	H	H	H	H	H	+9,961	+4,961
H	H	H	L	L	L	L	L	+8,750	+3,750
H	H	L	L	L	L	L	L	+7,500	+2,500
H	L	L	L	L	L	L	L	+5,000	0,000
L	H	L	L	L	L	L	L	+2,500	-2,500
L	L	L	L	L	L	L	H	+0,039	-4,961
L	L	L	L	L	L	L	L	0,000	-5,000

Jejich rozdíly v základních vlastnostech jsou uvedeny v přehledné tabulce 28. Obvody označené NE... jsou určeny pro běžný rozsah pracovních teplot 0 až +70 °C, obvody SE... pro široký rozsah teplot od -55 do +125 °C. Převodníky 5118 se vyznačují relativní přesností ±0,19 % FS, 5119 přesností ±0,1 % FS.

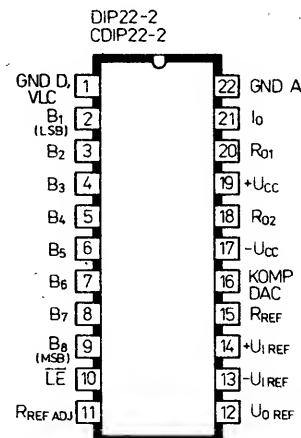
Hlavní rozdíl mezi převodníky NE/SE5118 ve srovnání s převodníky řady NE/SE5018 spočívá v úpravě výstupní části vnitřního zapojení na proudový výstup. Funkční skupinové zapojení převodníků NE/SE5118 a NE/SE5119 je na obr. 80. Protože u těchto součástek není použit výstupní operační zesilovač, mají převodníky kratší dobu ustálení (200 ns), tedy asi desetkrát kratší než NE5018 (2 μs).

Obvody řady NE/SE5118 jsou v plastovém nebo keramickém pouzdru DIP-22 s 2× jedenácti vývody v rastru 2,54 mm a odstupem řad vývodů 11,4 mm. Zapojení vývodů je uvedeno na obr. 81. Funkce vývodů: B₁ až B₈ – číslicové logické vstupy; LE – uvolňovací vstup vstupního registru; R_{REF} – vnitřní rezistor na vstupu zesilovače referenčního proudu; +U_{I REF} – neinvertující vstup zesilovače referenčního proudu; -U_{I REF} – invertující vstup zesilovače referenčního proudu; R_{REF ADJ} – vývod středu rezistorového děliče na vstupu referenčního zesilovače; KOMP DAC – vývod pro vnější kompenzaci převodníků; I₀ – přímý proudový výstup převodníků; R₀₁ – výstup převodníku přes vnitřní rezistor R; R₀₂ – výstup převodníku přes vnitřní rezistory R+R; +U_{CC} – připoj kladného napájecího napětí; -U_{CC} – připoj záporného napájecího napětí; GND A – zemnicí bod analogové části; GND D, VLC – zemnicí bod číslicové části. Elektrické údaje popsaných převodníkových obvodů jsou obsaženy v tabulce 32.

Následující praktická zapojení převodníků řady 5118 jsou velmi jednoduchá a platí



Obr. 80. Funkční skupinové zapojení převodníků D/A řady 5118



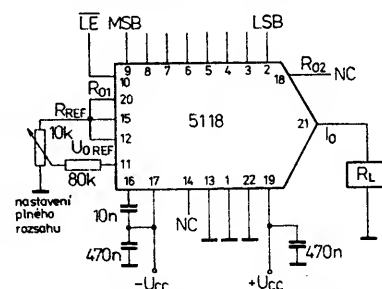
Obr. 81. Zapojení vývodů DIP22-2 převodníků NE5118, NE5119, SE5119, SE5119

rovněž pro obvody 5119. Na obr. 82 je vyzkoušené zapojení převodníku D/A s obvodem 5118, který pracuje s bipolárním proudovým výstupem s rozsahem od -1 mA do +1 mA. Plný rozsah se nastavuje potenciometrem P_1 s deseti otáčkami na plnou změnu odporu z 0 na 10 kΩ.

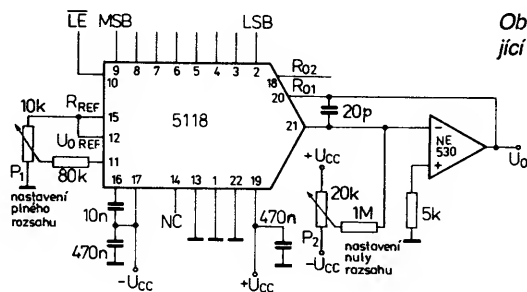
Převodník podle obr. 83, k jehož výstupu je připojen rychlý operační zesilovač NE530, pracuje s unipolárním výstupním napětím 0 až 10 V. Plný rozsah se nastavuje potenciometrem P_1 , nula potenciometrem P_2 .

Základní unipolární proudový rozsah s výstupním proudem od 0 do -2 mA má převodník 5118, zapojený podle obr. 84. V podstatě je to upravené zapojení podle obr. 83 s vypuštěným operačním zesilovačem.

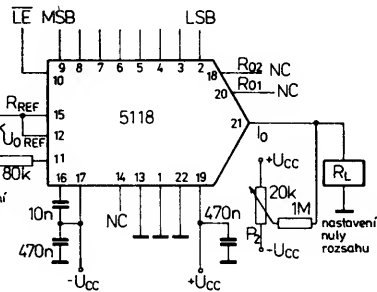
Rychlý napěťový výstup má převodník D/A s obvodem 5118 v zapojení podle obr. 85. Je nejjednodušší z popsaných zapojení. Rozsah výstupního napětí se volí připojením vývodu 20 buď na kladné napětí +10 V nebo na zemní potenciál. Výstupní napětí na vývodu 21 bude, při vstupním



Obr. 82. Převodník D/A s obvodem 5118, pracující s bipolárním výstupním proudovým rozsahem -1 mA až +1 mA



Obr. 83. Převodník s obvodem 5118, pracující s unipolárním napětovým výstupem v rozsahu 0 až +10 V



Obr. 84. Základní zapojení převodníku s obvodem 5118 s unipolárním výstupem v rozsahu 0 až -2 mA

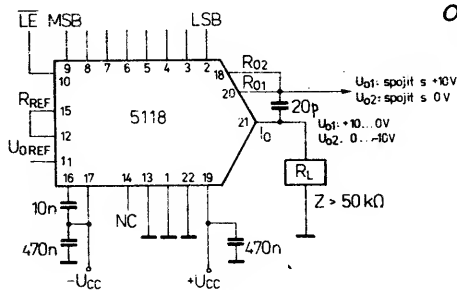
Tsb. 32 . Elektrické údaje převodníků D/A řady NE/SE5118, NE/SE5119

Mezní údaje		
Napájecí napětí kladné	$+U_{CC}$ mA 18	V
Napájecí napětí záporné	$-U_{CC}$ mA 18	V
Vstupní napětí logických vstupů	U_I = 0 až 18	V
Napětí na referenčním vetupu	$U_{I REF}$ mA 12	V
Napětí na vetupu pro nastavení referenčního napětí	$U_{ADJ REF}$ = 0 až U_{REF}	V
Zkratový proud výstupu referenčního napětí vůči zemi	$I_{REF SC}$ = trvalý	
Vstupní proud referenčního zesilovače	I_{REF} mA 5	mA
Ztrátový výkon celkový		
součástky v pleťovém pouzdru N	P_{tot} mA 800	mW
součástky v keramickém pouzdru F	P_{tot} mA 1000	mW
Rozsah provozní teploty okolí		
NE5118, SE5119	θ_a = 0 až +70	°C
SE5118, SE5119	θ_a = -55 až +125	°C
Rozsah skladovací teploty		
	θ_{stg} = -65 až +150	°C
Teplota vývodů při pájení		
$t < 10$ s	θ_L mA 300	°C
Snížení ztrátového výkonu		
součástka v pouzdru N, $\theta_a > 35$ °C	= 120	K/W
součástka v pouzdru F, $\theta_a > 75$ °C	= 75	K/W
Charakteristické údaje		
Platí při $+U_{CC} = 15$ V, $-U_{CC} = 15$ V, není-li uvedeno jinak. Jmenovité údaje platí při $\theta_a = 25$ °C.		
NE5118, NE5119: $\theta_a = 0$ až +70 °C		
SE5118, SE5119: $\theta_a = -55$ až +125 °C		
Rozlišení	= 8	b
Monotonie	= 8	b
Relativní přesnost		
NE5118, SE5118	E_r mA $\pm 0,19$	%FS
NE5119, SE5119	E_r mA $\pm 0,10$	%FS
Napájecí napětí kladné	$+U_{CC}$ = jmen. 15; $\geq 11,4$	V
Napájecí napětí záporné	$-U_{CC}$ = jmen. 15; $\geq 11,4$	V
Vstupní napětí logických vstupů		
napětí vývodu $U_1 = 0$ V		
úroveň H	U_{IH} mA 2,0	V
úroveň L	U_{IL} mA 0,8	V
Vstupní proud logických vstupů		
$U_1 = 0$ V		
úroveň H, $U_1 = 2$ až 18 V	I_{IH} = jmen. 0,1; ≤ 10	μ A
úroveň L, $U_1 = -5$ až +0,8 V	I_{IL} = jmen. -2; ≤ -10	μ A
Výstupní proud pro plný rozsah		
$U_{REF} = 5,000$ V, $\theta_a = 25$ °C		
unipolární provoz	I_{FS} = jmen. 1,992; 1,90 až 2,10	mA
Výstupní proud pro nulu rozsahu		
	I_{ZS} = jmen. 1	μ A
Vnitřní referenční napětí		
$I_0 = 1$ mA	U_{REF} = jmen. 5,0; 4,5 až 5,5	V
Citlivost výstupního proudu na změnu napájecího napětí		
$U_{REF} = 5,000$ V		
kladného, $-U_{CC} = 15$ V,		
$+U_{CC} = 11,4$ až 16,5 V	$PSRI_{FS+}$ = jmen. 0,001; $\leq 0,01$ %FS/ U_{CC}	
záporného, $+U_{CC} = 15$ V,		
$-U_{CC} = 11,4$ až 16,5 V	$PSRI_{FS-}$ = jmen. 0,001; $\leq 0,01$ %FS/ U_{CC}	

Teplotní součinitel výstupního proudu I_{FS}		
$U_{I REF} = 5,000$ V	TKI_{FS} = jmen. 20	ppm/K
Teplotní součinitel výstupního proudu I_{ZS}		
$U_{I REF} = 5,000$ V	TKI_{ZS} = jmen. 5	ppm/K
Výstupní proud referenčního zesilovače		
$U_{REF} \approx 0,1$ %, $\theta_a = 25$ °C	I_{REF} = jmen. 5	mA
Výstupní proud zkratový referenčního zesilovače		
$U_0 REF = 0$ V	$I_{REF SC}$ = jmen. 15; ≤ 30	mA
Citlivost referenčního proudu na změnu napájecího napětí		
$I_{REF} = 1$ mA		
kladného, $-U_{CC} = 15$ V,		
$+U_{CC} = 13,5$ až 16,5 V	$PSRI_{REF+}$ = jmen. 0,003; $\leq 0,01$ % U_{REF}/U_{CC}	
záporného, $+U_{CC} = 15$ V,		
$-U_{CC} = 13,5$ až 16,5 V	$PSRI_{REF-}$ = jmen. 0,003; $\leq 0,01$ % U_{REF}/U_{CC}	
Teplotní součinitel referenčního napětí		
$I_{REF} = 1$ mA	TKU_{REF} = jmen. 60	ppm/K
Vstupní impedance referenčního vstupu		
	$Z_{I REF}$ = 4 až 6	k Ω
Spotřeba napájecího proudu		
z kladného zdroje, $+U_{CC} = 15$ V	$+I_{CC}$ = jmen. 7; ≤ 14	mA
ze záporného zdroje, $-U_{CC} = 15$ V	$-I_{CC}$ = jmen. 10; ≤ 15	mA
Ztrátový výkon		
$I_{REF} = 1$ mA, $U_{CC} = \pm 15$ V	P_D = jmen. 255; ≤ 435	mW

Dynamické vlastnosti

Platí při $U_{CC} = \pm 15$ V, $\theta_a = 25$ °C.		
Doba ustálení		
ne $\pm 1/2$ LSB, všechny bity v úrovni H	t_{SLH} = jmen. 200	μ s
úroveň L	t_{SHL} = jmen. 200	μ s
Doba zpoždění přechodu signálu		
ze vstupu na výstup: všechny bity sepnuty		
z úrovně L do úrovně H	t_{PLH} = jmen. 60	ns
z úrovně H do úrovně L	t_{PHL} = jmen. 60	ns
při změně o 1 LSB	t_{PLSB} = jmen. 60	ns
ze vstupu LE na výstup:		
z úrovně L do úrovně H	t_{PLH} = jmen. 60	ns
z úrovně H do úrovně L	t_{PHL} = jmen. 60	ns
Doba nastavení ze vstupu na vývod LE		
	t_S ≥ 100	ns
Doba přiřazení ze vstupu LE na vstup		
	t_H ≥ 50	ns
Šířka uvolňovacího impulsu záchytného obvodu		
	t_{PW} ≥ 150	ns
Doba přechodu proudu referenčního vstupu		
	dI/dt = jmen. 5	mA/ μ s



Obr. 85. Zapojení převodníku D/A s obvodem 5118 s rychlým napěťovým výstupem 0 až +10 V nebo -10 V až 0 V se zátěží s impedancí větší než 50 kΩ

signálu s úrovní L na všech číslicových logických vstupech, +10 V, při úrovni H bude 0 V za podmínky, že vývod 20 bude spojen s napětím +10 V. Spojí-li se vývod 20 se zemním potenciálem, bude výstupní napětí záporné -10 V při signálu s úrovní H na všech číslicových vstupech a 0 V při signálu s úrovní L. Podmínkou dobré funkce rychlého výstupu je zátěž s velkou impedancí (nejméně 50 kΩ), připojená k proudovému výstupu (vývod 21).

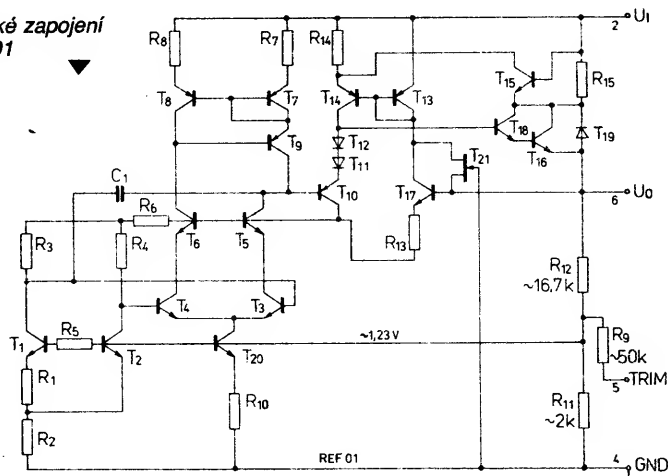
Zdroje přesného referenčního napětí

Zdroje referenčního napětí se vyznačují konstantním výstupním napětím, které je nezávislé na změnách vstupního napětí, výstupního zatěžovacího proudu a pracovní teplotě. Zdroje referenčního napětí jsou nezbytné při konstrukci různých elektronických zařízení, jako např. výkonových napájecích zdrojů, kalibračních normálů, přesných proudových zdrojů, převodníkových systémů dat apod.

Většina přesných zdrojů referenčního napětí využívá principu tzv. band-gap (pásmové mezery), méně přesné zdroje používají tepelně stabilizovanou Zenerovu diodu, integrovanou na společném čipu. První metoda sčítá napětí se záporným a kladným teplotním součinitelem, čímž se dosáhne stabilního výstupního napětí v celém rozsahu dovolených teplot. Napětí přechodu báze-emitor tranzistoru vykazuje záporný teplotní součinitel, zatím co rozdílové napětí přechodů dvou tranzistorů, provozovaných při nerovných proudových poměrech (ΔU_{BE}) se vyznačuje kladným teplotním součinitelem. Rozdíl napětí bází se zesiluje a sčítá s napětím báze-emitor. Tím vzniká tzv. prvek band-gap s napětím 1,23 V, který se vyznačuje téměř nulovým teplotním součinitelem v celém rozsahu provozních teplot. Napěťová úroveň 1,23 V se pak zesiluje na potřebné výstupní napětí.

Zenerova dioda jako zdroj referenčního napětí je vyrobena podpovrchovou Zenerovou bariérou a vytváří stabilní napětí, které se pak zesiluje a od ostatních součástek se odděluje oddělovacím zesilovačem. Při obou popsáních metodách se mohou výstupní napětí nastavit na potřebnou absolutní toleranci a teplotní součinitel metodou laserového trimování nebo vhodnou konstrukcí Zenerovy diody. Moderní mikroelektronika umožnila vyrábět zdroje přesného

Obr. 86. Vnitřní elektrické zapojení obvodu REF-01



referenčního napětí technologií monolitických integrovaných obvodů velmi přesně, teplotně stabilně a to s nejrůznějšími výstupními napětími.

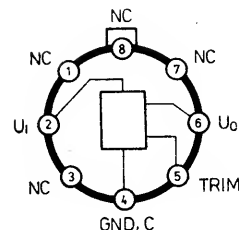
Přesný zdroj referenčního napětí řady REF-01

Jedním z nejznámějších a nejpoužívanějších integrovaných zdrojů přesného referenčního napětí je základní obvod REF-01 s výstupním napětím +10 V, jehož původním výrobcem je americká firma Precision Monolithic Inc. Obvod se vyrábí v několika verzích a třech typech pouzdra. Vnitřní elektrické zapojení obvodu je na obr. 86.

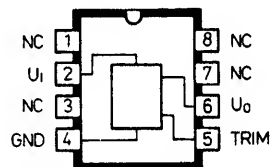
Stabilizované výstupní napětí obvodu je kladné, jeho velikost 10 V je možné nastavit v rozsahu $\pm 3\%$ při minimálním vlivu na teplotní stabilitu výstupního napětí. Obvod se napájí jedním kladným vstupním napětím v rozsahu od 12 do 40 V, vlastní spotřeba napájecího proudu je malá (pouze 1 mA). Výborná teplotní stabilita je dána vhodným vnitřním zapojením, které využívá popsaného principu pásmové mezery. Malý šum, malý příkon a nízká cena je příčinou velmi častého používání obvodu REF-01 nejen jako zdroje referenčního napětí pro číslicově-analogové převodníky, ale i jako stabilního zdroje napětí v mnoha jiných elektronických zapojeních, v přenosných přístrojích a číslicových voltmetrech.

Integrované obvody REF-01 se dodávají v kovovém pouzdru T0-99 s osmi drátovými vývody ve skleněné průchodce. Zapojení vývodů je na obr. 87. Další provedení je v plastovém pouzdru minidip DIP-8, v keramickém hermetickém pouzdru DIP-8, jejich zapojení vývodů je na obr. 88, a konečně též v plastovém pouzdru SO-8 s 2x čtyřmi vývody ve dvou řadách s odstupem 1,27 mm a zapojením vývodů podle obr. 89. Novinkou je keramické pouzdro LCC-20 čtvercového tvaru s pěti vývody na každé straně pouzdra a zapojením vývodů podle obr. 90.

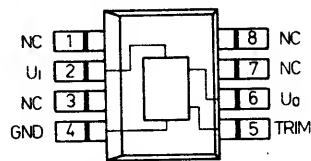
Elektrické údaje všech obvodů řady REF-01 jsou v tabulce 33. Stabilizované výstupní napětí se může zatěžovat proudem až do 20 mA, proudová spotřeba obvodu je přitom nejvýše 1,4 mA. Teplotní stabilita je podle typu maximálně 8,5 ppm/K. Typické zapojení pro přesné nastavení stabilizovaného výstupního napětí v rozsahu 10 V \pm 300 mV je na obr. 91. Toto zapojení slouží uživateli k adjustování chyby systému malou úpravou referenčního napětí v rozsahu do ± 300 mV. Ovšem výstupní napětí se může nastavit na přesné napětí 10,000 V nebo na 10,240 V, které je potřebné pro binární aplikace.



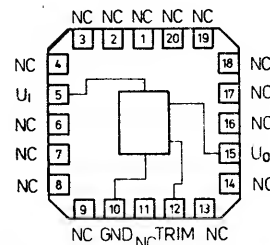
Obr. 87. Zapojení vývodů obvodů řady REF-01 v kovovém pouzdru T099 výrobci: PMI REF-01AJ, EJ, HJ, CJ, J, Maxim a Linear Technology REF-01AH, CH, EH, H, HH, Raytheon REF-01AT, AT/833, CT, DT, ET, HT, T, T/833



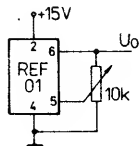
Obr. 88. Zapojení vývodů obvodů řady REF-01 v plastovém a keramickém pouzdru DIP-8 a CDIP-8 výrobci: PMI a Maxim REF-01 AZ, EZ, HP, HZ, CP, CS, CZ, Z, Linear Technology REF-01CJ8, CN8, EJ8, EN8, HJ8, HN8, Raytheon REF-01AD, AD/833, CD, CN, D, D/883, DD, DN, ED, EN, HD, HN, Analog Devices AREF-01Q, AQ, EQ, HQ



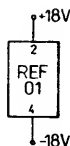
Obr. 89. Zapojení vývodů řady REF-01 v plastovém pouzdru SO-8 pro povrchovou montáž výrobce Maxim REF-01CCSA, HCSA



Obr. 90. Zapojení vývodů řady REF-01 v keramickém pouzdru LCC-20 výrobce PMI REF-01RC/883



Obr. 91. Typické zapojení pro přesné nastavení výstupního napětí referenčního obvodu REF-01 v rozsahu 10 V \pm 300 mV



Obr. 92. Zkušební zapojení obvodů REF-01 proti zničení přetížením

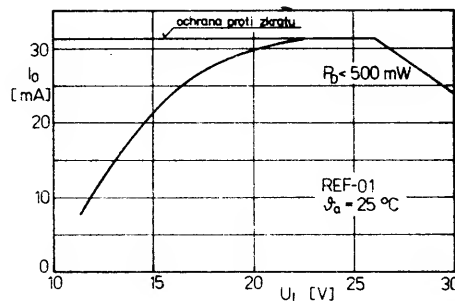
Nastavení výstupu nemá pozorovatelný vliv na teplotní vlastnosti integrovaného obvodu. Změna teplotního součinitele je přibližně 0,7 ppm/K při změně výstupního napětí o 100 mV.

Zapojení na obr. 92 platí pro integrované obvody REF-01, ale po úpravách součástek i pro další typ REF-02. Všechny podskupiny těchto referenčních obvodů výrobce PMI a Maxim jsou stoprocentně zkoušeny proti zničení v uvedeném kritickém zapojení po dobu 24 h při teplotě 150 °C, což je ekvivalentní provozu po dobu 25 let při teplotě 25 °C. Toto podstatné zlepšení kvality sou-

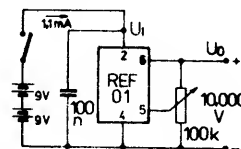
částky má vliv na dobrou dlouhodobou stabilitu provozu přístrojů.

Maximální dovolený výstupní zatěžovací proud obvodu REF-01 v závislosti na přivedeném vstupním napětí je patrný z grafické závislosti na obr. 93. Vnitřní ochrana proti zkratu omezuje výstupní proud na 31 mA. Při vstupním napětí větším než 26 V omezuje ochrana výstupní proud na maximální ztrátový výkon 500 mW.

Základní doporučené provozní zapojení obvodu REF-01 jako „přesný kalibrační napěťový normál“ je na obr. 94. Obvod se



Obr. 93. Závislost výstupního zatěžovacího proudu obvodu REF-01 na vstupním napětí



Obr. 94. Přesný napěťový kalibrační normál +10,000 V s obvodem REF-01

Tab. 33. Elektrické údaje přesného zdroje referenčního napětí +10 V řady REF-01

Mezní údaje			
Vstupní napětí			
REF-01, REF-01A, E, H, RC, řiny	U_I	mA	+40
REF-01C	U_I	mA	+30
Doba trvání zkratu výstupu vůči zemi nebo vstupnímu napětí	t_K	neomezeno	
Teplota přechodu	ϑ_J	= -65 až +150	°C
Rozsah provozní teploty okolí			
REF-01, REF-01A, REF-01RC	ϑ_a	= -55 až +125	°C
REF-01E, H, CJ, CZ	ϑ_a	= 0 až +125	°C
REF-01CP, REF-01CS	ϑ_a	= -40 až +85	°C
Rozsah skladovací teploty			
REF-01 v pouzdru J, RC, Z	ϑ_{stg}	= -65 až +150	°C
REF-01 v pouzdru P	ϑ_{stg}	= -65 až +125	°C
Charakteristické údaje			
Platí při $U_I = +15$ V, $\vartheta_a = 25$ °C, není-li uvedeno jinak.			
Výstupní napětí			
$I_L = 0$ REF-01A, REF-01E	U_O	= jmen. 10; 9,97 až 10,03	V
REF-01, REF-01H	U_O	= jmen. 10; 9,95 až 10,05	V
REF-01C	U_O	= jmen. 10; 9,90 až 10,10	V
Rozsah nastavení výstupního napětí			
$R_p = 10$ k Ω	ΔU_{OT}	= jmen. $\pm 3,3$; $\geq 3,0$	%
jen REF-01C	ΔU_{OT}	= jmen. $\pm 3,3$; $\geq 2,7$	%
Výstupní napětí šumové, mezivřcholové			
$f = 0,1$ Hz až 10 Hz	U_{ON} M/M	= jmen. 20; ≤ 30	μ V
jen REF-01C	U_{ON} M/M	= jmen. 25; ≤ 35	μ V
Změna výstupního napětí se změnou vstupního napětí			
$U_I = 13$ až 33 V	ΔU_{OI}	= jmen. 0,006; $\leq 0,01$	%/V
$U_I = 13$ až 30 V REF-01C	ΔU_{OI}	= jmen. 0,009; $\leq 0,015$	%/V
Změna výstupního napětí se změnou zatěžovacího proudu			
$I_L = 0$ až 10 mA REF-01A, REF-01E	ΔU_{OL}	= jmen. 0,005; $\leq 0,008$	%/mA
$I_L = 0$ až 10 mA REF-01, REF-01H	ΔU_{OL}	= jmen. 0,006; $\leq 0,01$	%/mA
$I_L = 0$ až 8 mA REF-01C	ΔU_{OL}	= jmen. 0,006; $\leq 0,015$	%/mA
Doba ustálení			
na $\pm 0,1$ % konečné hodnoty	t_{OK}	= jmen. 5	μ s
Nastavovací proud v klidu	I_{CCO}	= jmen. 1; $\leq 1,4$	mA
REF-01C	I_{CCO}	= jmen. 1; $\leq 1,6$	mA
Zatěžovací proud	I_L	= jmen. 21; ≤ 10	mA
REF-01C	I_L	= jmen. 21; ≤ 8	mA
Výstupní proud zkratový			
$U_O = 0$ V	I_{OK}	= jmen. 30	mA
Výstupní proud do zkratu	$-I_S$	= jmen. 0,5; $\geq 0,3$	mA

Platí při $U_I = +15$ V, $I_L = 0$ mA, není-li uvedeno jinak.

$\vartheta_a = -55$ až +125 °C

$\vartheta_a = 0$ až +70 °C REF-01CJ, REF-01CZ

$\vartheta_a = -40$ až +85 °C REF-01CP, REF-01CS

Změna výstupního napětí při změně teploty t_1

$\vartheta_a = 0$ až +70 °C REF-01E, $\Delta U_{OT} =$ jmen. 0,02; $\leq 0,06$ %

$\vartheta_a = 0$ až +70 °C REF-01H, $\Delta U_{OT} =$ jmen. 0,07; $\leq 0,17$ %

$\vartheta_a = -55$ až +125 °C REF-01A, $\Delta U_{OT} =$ jmen. 0,06; $\leq 0,15$ %

$\vartheta_a = -55$ až +125 °C REF-01, $\Delta U_{OT} =$ jmen. 0,18; $\leq 0,45$ %

$\vartheta_a = 0$ až +70 °C, REF-01CJ, CZ $\Delta U_{OT} =$ jmen. 0,14; $\leq 0,45$ %

$\vartheta_a = -40$ až +85 °C REF-01CP, CS $\Delta U_{OT} =$ jmen. 0,14; $\leq 0,45$ %

Teplotní součinitel výstupního napětí t_2

REF-01A, REF-01E $TKU_{OT} =$ jmen. 3; $\leq 8,5$ ppm/K

REF-01 $TKU_{OT} =$ jmen. 10; ≤ 25 ppm/K

REF-01C $TKU_{OT} =$ jmen. 20; ≤ 65 ppm/K

Změna teplotního součinitele výstupního napětí s nastavením výstupu

$R_p = 10$ k Ω = jmen. 0,7 ppm/%

Změna výstupního napětí se změnou vstupního napětí

$U_I = 13$ až 33 V

$\vartheta_a = 0$ až +70 °C REF-01E, H, $\Delta U_{OI} =$ jmen. 0,007; $\leq 0,012$ %/V

$\vartheta_a = -55$ až +125 °C REF-01A, $\Delta U_{OI} =$ jmen. 0,009; $\leq 0,015$ %/V

$U_I = 13$ až 30 V

$\vartheta_a = 0$ až +70 °C REF-01CJ, CZ $\Delta U_{OI} =$ jmen. 0,011; $\leq 0,018$ %/V

$\vartheta_a = -40$ až +85 °C REF-01CP, CS $\Delta U_{OI} =$ jmen. 0,011; $\leq 0,018$ %/V

Změna výstupního napětí se změnou zatěžovacího proudu

$I_L = 0$ až 8 mA

$\vartheta_a = 0$ až +70 °C REF-01E, $\Delta U_{OL} =$ jmen. 0,006; $\leq 0,010$ %/mA

REF-01H, $\Delta U_{OL} =$ jmen. 0,007; $\leq 0,012$ %/mA

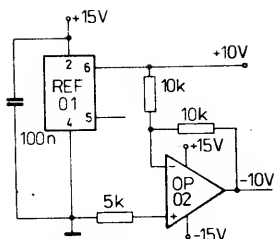
$\vartheta_a = -55$ až +125 °C REF-01A, $\Delta U_{OL} =$ jmen. 0,007; $\leq 0,012$ %/mA

REF-01, $\Delta U_{OL} =$ jmen. 0,009; $\leq 0,015$ %/mA

$I_L = 0$ až 5 mA

$\vartheta_a = 0$ až +70 °C REF-01CJ, CZ $\Delta U_{OL} =$ jmen. 0,008; $\leq 0,018$ %/mA

$\vartheta_a = -40$ až +85 °C REF-01CP, CS $\Delta U_{OL} =$ jmen. 0,008; $\leq 0,018$ %/mA

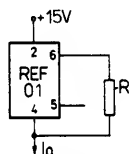


Obr. 95. Zdroj symetrického referenčního napětí ± 10 V s obvodem REF-01 a operačním zesilovačem

napájej napětím 18 V, proudová spotřeba je typicky 1,1 mA. Pro dosažení nejlepších vlastností zdroje (ale i všech dále popsaných zapojení) se doporučuje blokovat přívody napájecího napětí přímo na vývodech obvodu nebo na objímce terčovým keramickým kondenzátorem s kapacitou 100 nF. Potenciometrem 100 k Ω je možné přesně nastavit výstupní napětí na ± 10 000 V.

Na obr. 95 je zapojení zdroje symetrického referenčního napětí ± 10 V. Základní zapojení obvodu REF-01 je zde rozšířeno o operační zesilovač OP-02 (místo něj se může použít domácí výrobek MAA741), kterým se jednoduše zajišťuje výstupní záporné napětí 10 V. Kladné výstupní napětí 10 V dodává přímý výstup referenčního obvodu REF-01.

Integrovaný obvod REF-01 může pracovat též jako proudový zdroj v zapojení na obr. 96. Zemnicí vývod GND (vývod č. 4) není



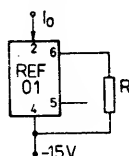
Obr. 96. Proudový zdroj s referenčním obvodem REF-01

uzemněn, ale slouží jako výstup proudového zdroje. Výstupní proud je dán vztahem

$$I_O = \frac{10 \text{ V}}{R} + 1 \text{ mA}$$

Zapojení se napájí kladným napětím 15 V. Napěťová pružnost výstupu je v rozsahu od -25 do +3 V.

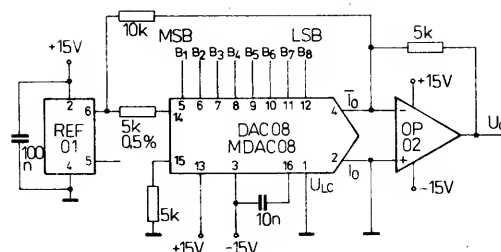
Mírně pozmeněné zapojení podle obr. 97 slouží jako obvod odeírající proud. Napáje-



Obr. 97. Obvod REF-01 v zapojení, které odeírá proud. Napěťová pružnost výstupu od -3 V do +25 V

cí napětí záporné -15 V se přivádí na vývod 4, vývod 2 se používá jako proudový výstup (jinak slouží jako přívod napájecího napětí). Výstupní proud zapojení je dán vztahem jako v předchozím případě. Napěťová pružnost výstupu je v rozsahu od -3 V do +25 V.

Obr. 98. Zdroj referenčního napětí s obvodem REF-01 ve spojení s převodníkem DAC-08



Integrovaný obvod REF-01 v zapojení jako zdroj referenčního napětí pro nejčastěji používaný číslicově-analogový převodník 8 b typu DAC-08 (nebo též TESLA MDAC08) je uvedeno na obr. 98. Referenční napětí 10 V se přivádí přes přesný rezistor 5000 Ω na vývod 14 převodníkového obvodu. K výstupu (vývody 2 a 4) převodníku je připojen operační zesilovač OP-02, na jehož výstupu se odeírá analogové výstupní napětí. Výstupní analogové napětí je dáno funkcí tabulkou převodníku (tab. 34).

Integrovaný obvod REF-01 se může použít jako zdroj referenčního napětí pro převodníkový obvod DAC-08, pracující jako analogově číslicový převodník ve spojení s postupným aproximačním registrem AM2502 (nebo TESLA MH1502). K výstupu převodníkového obvodu je připojen komparátor CMP-01C, jehož výstup je spojen se vstupem registru. Návrh zapojení je na obr. 99.

Přesný proudový zdroj s výstupním napětím od 0 do +25 V, který má velmi výhodnou výstupní impedanci, je možné sestavit se dvěma obvody REF-01 a operačním zesilovačem OP-02 v zapojení podle obr. 100. Integrovaný obvod IO-1 (REF-01) udržuje konstantní linkové napětí a ztrátový výkon obvodu IO-2. Jediným závažným nedostatkem tohoto zapojení při pokojové provozní teplotě je záporné potlačení vlivu napájení operačního zesilovače. Typické potlačení vlivu napájecího napětí zesilovače je uváděno asi 3 μ V/V, což se může projevit jako změna 8 ppm výstupního proudu v napěťovém rozsahu 25 V. Například proudový zdroj 10 mA má při odporu rezistoru 1 k Ω výstupní impedanci 300 M Ω . Výstupní odpor je dán vztahem

$$R_O = \frac{25}{8 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \text{ mA}}$$

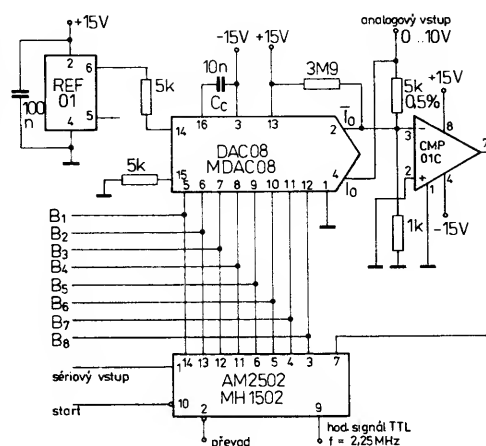
Výstupní proud zdroje ovlivňuje rezistor R. Jeho odporem se může přesně nastavit výstupní proud podle vztahu

$$I_O = 10 \text{ V} / R$$

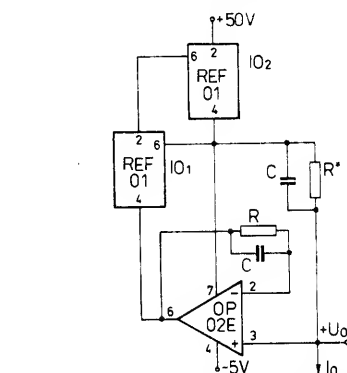
Použité součástky členu RC mají mít časovou konstantu 10^{-5} s. Nevýhodou popsaného zapojení je poměrně velké potřebné napájecí napětí (asi +50 V).

Tři referenční obvody REF-01 se mohou použít v zapojení podle obr. 101 jako univerzální zdroj tří referenčních napětí (10, 20 a 30 V).

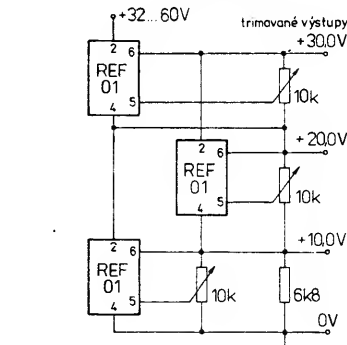
(Dokončení v příštím čísle)



Obr. 99. Zdroj referenčního napětí s obvodem REF-01 ve spojení s analogově číslicovým převodníkem



Obr. 100. Přesný proudový zdroj se dvěma obvody REF-01 s výstupním napětím od 0 do +25 V



Obr. 101. Tři obvody REF-01 vytvoří zdroj tří přesných referenčních napětí 10, 20, 30 V

Tab. 34. Funkční tabulka převodníku D/A podle zapojení na obr. 98

	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	B ₇	B ₈	U ₀
Kladná plná stupnice -1 LSB	1	1	1	1	1	1	1	1	+4,960
Nula na stupnici	1	0	0	0	0	0	0	0	0,000
Záporná plná stupnice +1 LSB	0	0	0	0	0	0	0	1	-4,960
Záporná plná stupnice	0	0	0	0	0	0	0	0	-5,000

Tab. 35 . Elektrické údaje přesného zdroje referenčního napětí +10 V
řady REF-01 výrobce Linear Technology Inc.

Mezní údaje		
Napájecí napětí REF-01, REF-01A, REF-01E, REF-01H REF-01C	$U_I \approx +40$	V
	$U_I \approx +30$	V
Ztrátový výkon celkový	$P_{tot} \approx 500$	mW
Doba trvání zkratu výstupu proti zemi při $U_I \leq 16$ V při $U_I > 16$ V	t_K není definována	
	t_K není definována	
Rozsah pracovní teploty okolí REF-01, REF-01A REF-01E, REF-01H, REF-01C, REF-01D	$\vartheta_a = -55$ až $+125$	°C
	$\vartheta_a = 0$ až $+70$	°C
Rozsah skladovací teploty	$\vartheta_{stg} = -65$ až $+150$	°C
Charakteristické údaje		
Platí při $U_I = +15$ V, $\vartheta_a = 25$ °C, není-li uvedeno jinak.		
Výstupní napětí $I_L = 0$ REF-01AH, REF-01EH, EJB, ENS REF-01H, REF-01HH, HJB, HNS REF-01CH, REF-01CJB, CNE	$U_O = \text{žmen. } 10; 9,97 \text{ až } 10,03$	V
	$U_O = \text{žmen. } 10; 9,95 \text{ až } 10,05$	V
Rozsah nastavení výstupního napětí $R_P = 10$ k Ω REF-01AH, EH, EJB, ENS REF-01H, HH, HJB, HNS REF-01CH, CJB, CNE	$\Delta U_O = \text{žmen. } +5, -27; \geq \pm 3$	%
	$\Delta U_O = \text{žmen. } +5, -27; \geq \pm 3$	%
Výstupní napětí šumové, mezivřcholové $f = 0,1$ až 10 Hz ⁶⁾ REF-01CH, CJB, CNE	$U_{ON} = \text{žmen. } 20$	μV
	$U_{ON} = \text{žmen. } 30$	μV
Rozsah vstupního napětí mimo REF-01CH, CJB, CNE Změna výstupního napětí při změně vstupního napětí ¹⁾ ($U_O + 3$ V) až 33 V REF-01CH, CJB, CNE	$U_I = 12$ až 40	V
	$\Delta U_O = \text{žmen. } 0,0001; \leq 0,008$	%/V
Změna výstupního napětí při změně zatěžovacího proudu $I_L = 0$ až 10 mA REF-01AH, EH, EJB, ENS REF-01H, HH, HJB, HNS	$\Delta U_O = \text{žmen. } 0,0005; \leq 0,008$	%/mA
	$\Delta U_O = \text{žmen. } 0,0005; \leq 0,010$	%/mA
$I_L = 0$ až 8 mA REF-01CH, CJB, CNE	$\Delta U_O = \text{žmen. } 0,0005; \leq 0,015$	%/mA
Napájecí proud v klidu bez zátěže	$I_{CCO} = \text{žmen. } 0,65; \leq 1,4$	μA
Výstupní proud REF-01CH, CJB, CNE	$I_O = \text{žmen. } 20; \geq 10$	mA
	$I_O = \text{žmen. } 20; \geq 8$	mA
Výstupní proud zkratový $U_O = 0$	$I_{OK} = \text{žmen. } 25$	mA
	$U_{OT} = \text{žmen. } 620$	mV
Platí při $U_I = +15$ V, $I_L = 0$, není-li uvedeno jinak.		
$\vartheta_a = -55$ až $+125$ °C: REF-01AH, REF-01H		
$\vartheta_a = 0$ až $+70$ °C: REF-01EH, EJB, ENS, REF-01H, HJB, HNS		
Změna výstupního napětí se změnou teploty ^{3), 4)} $\vartheta_a = 0$ až $+70$ °C REF-01A., E. $\vartheta_a = 0$ až $+70$ °C REF-01., H. $\vartheta_a = -55$ až $+125$ °C REF-01A., E. $\vartheta_a = -55$ až $+125$ °C REF-01., H. $\vartheta_a = 0$ až $+70$ °C REF-01C.	$\Delta U_O = \text{žmen. } 0,02; \leq 0,06$	%
	$\Delta U_O = \text{žmen. } 0,035; \leq 0,17$	%
Teplotní součinitel výstupního napětí ⁵⁾ REF-01A., E. REF-01., H. REF-01C.	$\Delta U_O = \text{žmen. } 0,09; \leq 0,15$	%
	$\Delta U_O = \text{žmen. } 0,144; \leq 0,45$	%
Změna teplotního součinitele výstup- ního napětí s nastavením výstupu $R_P = 10$ k Ω	$TKU_O = \text{žmen. } 5; \leq 8,5$	ppm/K
	$TKU_O = \text{žmen. } 8; \leq 25$	ppm/K
	$TKU_O = \text{žmen. } 8; \leq 65$	ppm/K
	$\Delta TKU_O = \text{žmen. } 0,5$	ppm/%

Změna výstupního napětí se změnou vstupního napětí ¹⁾ $U_I = 8$ až 33 V $\vartheta_a = 0$ až $+70$ °C REF-01E., H. $\vartheta_a = 0$ až $+70$ °C REF-01C. $\vartheta_a = -55$ až $+125$ °C REF-01., A.	
$\Delta U_{OI}/\Delta U_I = \text{žmen. } 0,0001; \leq 0,012$	%/V
$\Delta U_{OI}/\Delta U_I = \text{žmen. } 0,0001; \leq 0,018$	%/V
$\Delta U_{OI}/\Delta U_I = \text{žmen. } 0,0001; \leq 0,015$	%/V
Změna výstupního napětí se změnou zatěžovacího proudu ¹⁾ $I_L = 0$ až 8 mA $\vartheta_a = 0$ až $+70$ °C REF-01E., $\vartheta_a = 0$ až $+70$ °C REF-01H. $\vartheta_a = -55$ až $+125$ °C REF-01. $\vartheta_a = -55$ až $+125$ °C REF-01A. $I_L = 0$ až 5 mA $\vartheta_a = 0$ až $+70$ °C REF-01C.	
$\Delta U_{OI}/\Delta I_O = \text{žmen. } 0,002; \leq 0,01$	%/mA
$\Delta U_{OI}/\Delta I_O = \text{žmen. } 0,002; \leq 0,012$	%/mA
$\Delta U_{OI}/\Delta I_O = \text{žmen. } 0,002; \leq 0,015$	%/mA
$\Delta U_{OI}/\Delta I_O = \text{žmen. } 0,002; \leq 0,012$	%/mA
$\Delta U_{OI}/\Delta I_O = \text{žmen. } 0,002; \leq 0,018$	%/mA

- Změna výstupního napětí se změnou vstupního napětí a změnou zatěžovacího proudu je definována včetně jevu samovolného ohřívání.
- Proud do a z vývodu K. 3 je omezen na 50 nA, kapacita tohoto vývodu na 30 pF.
- ΔU_{OT} je definována jako absolutní rozdíl mezi maximálním a minimálním výstupním napětím v celém specifikovaném teplotním rozsahu a je vyjádřena v procentech nominálního výstupního napětí podle vztahu

$$\Delta U_{OT} = \left| \frac{U_{max} - U_{min}}{U_O} \right| \cdot 100$$
- ΔU_{OT} je definována s trimovaným nebo netrimovaným výstupem.
- Teplotní součinitel TKU_O je definován jako ΔU_O děleno specifikovaným teplotním rozsahem, např.

$$TKU_O = \left| \frac{U_O}{(\vartheta_{max} - \vartheta_{min})} \right|$$
- Šum v kmitočtovém rozsahu 0,1 až 10 Hz nelze stoprocentně u všech součástek měřit moderními velmi rychlými měřicími zařízeními. Proto výrobce Linear Technology nezaručuje uváděný mezní údaj u standardních součástek. Stoprocentní měření šumu v rozsahu 0,1 až 10 Hz provádí proto jen na speciální požadavek zákazníka. K zaručení malého šumu u všech prodáváných součástek měří LT stoprocentně šum v rozsahu od 10 Hz do 1 kHz.

Tab. 36 . Elektrické údaje přesných zdrojů referenčního napětí +10 V
REF-01 firmy Raytheon

Mezní údaje		
Napájecí napětí REF-01, REF-01A, E, H REF-01C, D	$U_I \approx 40$	V
	$U_I \approx 30$	V
Vnitřní ztrátový výkon	$P \approx 300$	mW
Rozsah pracovní teploty okolí REF-01, REF-01A REF-01E, H, C, D	$\vartheta_a = -55$ až $+125$	°C
	$\vartheta_a = 0$ až $+70$	°C
Teplota přechodu REF-01. v pouzdru D, T REF-01. v pouzdru N	$\vartheta_j \approx 175$	°C
	$\vartheta_j \approx 125$	°C
Rozsah skladovací teploty	$\vartheta_{stg} = -65$ až $+150$	°C
Teplota vývozu při páření $t \leq 60$ s	$\vartheta_L \approx +300$	°C
Ztrátový výkon, $\vartheta_a \leq 50$ °C součástky v pouzdru D součástky v pouzdru T součástky v pouzdru N	$P_{tot} \approx 833$	mW
	$P_{tot} \approx 658$	mW
Teplotný odpor přechod-okolí součástky v pouzdru D součástky v pouzdru T součástky v pouzdru N	$R_{thja} \approx 150$	K/W
	$R_{thja} \approx 190$	K/W
Teplotný odpor přechod-pouzdro součástky v pouzdru D součástky v pouzdru T	$R_{thjc} \approx 45$	K/W
	$R_{thjc} \approx 50$	K/W
Charakteristické údaje		
Platí při $U_I = +15$ V, $\vartheta_a = 25$ °C, není-li uvedeno jinak.		
Výstupní napětí bez zátěže $I_L = 0$ mA REF-01, REF-01H		
$U_O = \text{žmen. } 10; 9,95 \text{ až } 10,05$		V

REF-01A, REF-01E	U_0 = jmen. 10; 9,97 až 10,03	V
REF-01C	U_0 = jmen. 10; 9,99 až 10,10	V
REF-01D	U_0 = jmen. 10; 9,85 až 10,15	V
Rozsah nastavení výstupního napětí		
$R_p = 10 \text{ k}\Omega$		
REF-01, A, E, H	ΔU_{TR} = jmen. $\pm 3,3$; $\pm 3,0$	%
REF-01C	ΔU_{TR} = jmen. $\pm 3,3$; $\pm 2,7$	%
REF-01D	ΔU_{TR} = jmen. $\pm 3,3$; $\pm 2,0$	%
Výstupní šumové napětí, mezipřechodové		
$f = 0,1 \text{ až } 10 \text{ Hz}$		
REF-01, A, E, H	$U_{ON \text{ M/M}}$ = jmen. 20; ≤ 30	μV
REF-01C	$U_{ON \text{ M/M}}$ = jmen. 25; ≤ 35	μV
REF-01D	$U_{ON \text{ M/M}}$ = jmen. 25	μV
Vstupní napájecí napětí		
REF-01, A, E, H	U_I = 12 až 40	V
REF-01C, D	U_I = 12 až 40	V
Změna výstupního napětí se změnou vstupního napětí		
$U_I = 13 \text{ až } 33 \text{ V}$		
REF-01, A, E, H	ΔU_{OI} = jmen. 0,006; $\leq 0,01$	%/V
REF-01C	ΔU_{OI} = jmen. 0,009; $\leq 0,015$	%/V
REF-01D	ΔU_{OI} = jmen. 0,012; $\leq 0,04$	%/V
Změna výstupního napětí se změnou zatěžovacího proudu		
$I_L = 0 \text{ až } 10 \text{ mA}$		
REF-01, REF-01H	ΔU_{OL} = jmen. 0,006; $\leq 0,010$	%/mA
REF-01A, REF-01E	ΔU_{OL} = jmen. 0,006; $\leq 0,008$	%/mA
$I_L = 0 \text{ až } 8 \text{ mA}$		
REF-01C	ΔU_{OL} = jmen. 0,006; $\leq 0,015$	%/mA
$I_L = 0 \text{ až } 4 \text{ mA}$		
REF-01C	ΔU_{OL} = jmen. 0,006; $\leq 0,015$	%/mA
REF-01D	ΔU_{OL} = jmen. 0,009; $\leq 0,04$	%/mA
$n \pm 0,1 \%$ konečné hodnoty	t_{ON} = jmen. 5	μs
Napájecí proud v klidu bez zátěže		
REF-01, REF-01A, E, H	I_{CCO} = jmen. 1,0; $\leq 1,4$	mA
REF-01C	I_{CCO} = jmen. 1,0; $\leq 1,6$	mA
REF-01D	I_{CCO} = jmen. 1,0; $\leq 2,0$	mA
Zatěžovací proud		
REF-01, REF-01A, E, H	I_L = jmen. 21; ≤ 10	mA
REF-01C, D	I_L = jmen. 21; ≤ 8	mA
Zatěžovací proud do zátěže		
REF-01, REF-01A, E, H	$-I_S$ = jmen. 0,5; $\leq 0,3$	mA
REF-01C, D	$-I_S$ = jmen. 0,5; $\leq 0,2$	mA

Výstupní proud zkratový		I_{OK} = jmen. 30	mA
$U_0 = 0$			
Platí při $U_I = +15 \text{ V}$, není-li uvedeno jinak.			
Změna výstupního napětí se změnou teploty			
$\vartheta_a = -55 \text{ až } +125 \text{ }^\circ\text{C}$:			
REF-01	$\Delta U_0/\Delta \vartheta$ = jmen. 0,18; $\leq 0,45$	%	
REF-01A	$\Delta U_0/\Delta \vartheta$ = jmen. 0,06; $\leq 0,15$	%	
$\vartheta_a = 0 \text{ až } +70 \text{ }^\circ\text{C}$:			
REF-01E	$\Delta U_0/\Delta \vartheta$ = jmen. 0,02; $\leq 0,06$	%	
REF-01H	$\Delta U_0/\Delta \vartheta$ = jmen. 0,07; $\leq 0,17$	%	
REF-01C	$\Delta U_0/\Delta \vartheta$ = jmen. 0,14; $\leq 0,45$	%	
REF-01D	$\Delta U_0/\Delta \vartheta$ = jmen. 0,49; $\leq 1,7$	%	
Teplotní součinitel výstupního napětí			
v celém dovoleném teplotním rozsahu			
REF-01	TKU_0 = jmen. 10; ≤ 25	ppm/K	
REF-01A	TKU_0 = jmen. 3; $\leq 8,5$	ppm/K	
REF-01E	TKU_0 = jmen. 3; $\leq 8,5$	ppm/K	
REF-01H	TKU_0 = jmen. 10; ≤ 25	ppm/K	
REF-01C	TKU_0 = jmen. 20; ≤ 65	ppm/K	
REF-01D	TKU_0 = jmen. 70; ≤ 250	ppm/K	
Změna teplotního součinitele výstupního napětí s nastavením výstupu			
$R_p = 10 \text{ k}\Omega$		= jmen. 0,7	ppm/K
Změna výstupního napětí se změnou vstupního napětí			
$U_I = 13 \text{ až } 33 \text{ V}$, $\vartheta_a = -55 \text{ až } +125 \text{ }^\circ\text{C}$:			
REF-01, REF-01A	ΔU_{OI} = jmen. 0,009; $\leq 0,015$	%/V	
$U_I = 13 \text{ až } 33 \text{ V}$, $\vartheta_a = 0 \text{ až } +70 \text{ }^\circ\text{C}$:			
REF-01E, REF-01H	ΔU_{OI} = jmen. 0,007; $\leq 0,012$	%/V	
$U_I = 13 \text{ až } 33 \text{ V}$, $\vartheta_a = 0 \text{ až } +70 \text{ }^\circ\text{C}$:			
REF-01C	ΔU_{OI} = jmen. 0,011; $\leq 0,018$	%/V	
REF-01D	ΔU_{OI} = jmen. 0,02; $\leq 0,025$	%/V	
Změna výstupního napětí se změnou zatěžovacího proudu			
$I_L = 0 \text{ až } 8 \text{ mA}$, $\vartheta_a = -55 \text{ až } +125 \text{ }^\circ\text{C}$:			
REF-01, REF-01A	ΔU_{OL} = jmen. 0,007; $\leq 0,012$	%/mA	
$I_L = 0 \text{ až } 8 \text{ mA}$, $\vartheta_a = 0 \text{ až } +70 \text{ }^\circ\text{C}$:			
REF-01E	ΔU_{OL} = jmen. 0,006; $\leq 0,01$	%/mA	
REF-01H	ΔU_{OL} = jmen. 0,007; $\leq 0,012$	%/mA	
$I_L = 0 \text{ až } 5 \text{ mA}$, $\vartheta_a = 0 \text{ až } +70 \text{ }^\circ\text{C}$:			
REF-01C	ΔU_{OL} = jmen. 0,006; $\leq 0,018$	%/mA	
REF-01D	ΔU_{OL} = jmen. 0,02; $\leq 0,025$	%/mA	

Dalším, ostře sledovaným parametrem, bylo v SDC chvění, vibrace. Tolerovaná úroveň vibrací je v „čistých“ místnostech fotolitografického oddělení velice malá, 125 mikropalců za sekundu (1 palec = 25,4 mm, 1 mikropalec = 10^{-6} palce), protože jakékoli sebepatrnější vibrace mohou způsobit problémy. Jen pro srovnání. Pro nemocniční operační sály se vyžaduje maximální chvění asi 4, pro běžné kancelářské budovy asi 16 milipalců za sekundu.

Ještě jeden údaj je pro SDC charakteristický, a to požadavek na elektrický příkon SDC využívá až 86 MW elektrického příkonu, což odpovídá (v USA) spotřebě města s asi 10 000 obyvateli.

Jakost všech materiálů pro výrobu se velmi pečlivě sleduje a navíc se materiály upravují tak, aby se zabránilo vytváření elektrostatického náboje na jejich povrchu.

Abyste všechny investice co nejlépe zhodnotily, pracuje SDC 24 hodin denně po sedm dnů v týdnu.

Stručná souhrnná fakta

Rozměry SDC: 35 000 čtverečných stop „čistých“ prostor (1 čtverečná

stopa, sq. ft = 0,093 m², tj. asi 3235 m²).

Hmotnost: Ke stavbě bylo použito asi 100 miliónů liber betonu (tj. asi 45 tisíc tun); hmotnost betonu se tedy blíží váze moderní letadlové lodi.

Výrobní kapacita: 3000 šestipalcových plátek, popř. 2000 osmipalcových.

Čistota: Třída 1 v 0,1 mikronové úrovni.

Náklady: Větší než 250 miliónů dolarů k datu uvedení do provozu.

Firma MACRO GROUP UK je autorizovaný distributor firmy AMD, všechny součástky dodává přímo od výrobce, zajišťuje speciální zacházení s nimi a tím 100% kvalitu dodávky.

Detailní informace o všech součástkách firmy Advanced Micro Devices i těch nejmmodernějších (včetně prodeje) můžete obdržet u obchodních zastoupení na těchto adresách:

MACRO WEIL, spol. s r.o., Bechyňova 3, 160 00 Praha 6, fax/tel. (02) 311. 34 54, tel. (02) 311 21 82

MACRO Components, spol. s r.o., Vysocká 6, 010 01 Žilina, fax 89 341 09, tel. 89 341 81.

INZERCE

Inzerce přijímá osobně a poštou Vydavatelství Magnet-Press inzertní oddělení (inzerce ARB), Vladislavova 26, 113 66 Praha 1, tel. 26 06 51-9 linka 342, fax 23 62 439 nebo 23 53 271. Uzávěrka tohoto čísla byla 2. 12. 1992, do kdy jsme museli obdržet úhradu na inzerát. Cena za první řádku činí 44 Kčs a za každou další (i započatou) 22 Kčs. Platba za plošnou inzerce se řídí velikostí inzerátu. Za 1 cm² plochy je cena stanovena na 18 Kčs. Text pište čitelně, aby se předešlo chybám vznikajícím z nečitelnosti předlohy.

PRODEJ

Prodám úplný překlad technického popisu a uživatelské příručky k polyskopu X1-42, 80 stran strojopisu za 250 Kčs. Z. Poštulka, Ke koupališti 262, 789 83 Loštice, tel. (0648) 522 55.

Prodám magnetický polarizér s ozařovačem pro kruh. i offset. parabolu asi 60 mA (4 V) za 485 Kčs. J. Starosta, Stínadla 1064, 584 01 Ledec n. S., tel. (0452) 26 18.